

**ZUR ULTRASTRUKTUR GLOMERULÄRER UND
PERITUBULÄRER GEFÄSSE DER NIERE
BEIM HUND**

BARBARA MITSCHKE

Disbui. München

1988



Aus dem
Institut für Tieranatomie
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl: Prof. Dr. Dr. Dr. habil. F. Sinowatz

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. H.-G. Liebich

ZUR ULTRASTRUKTUR GLOMERULÄRER UND
PERITUBULÄRER GEFÄSSE DER NIERE
BEIM HUND

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Barbara Mitschek

aus
Unterrammingen

München 1988

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan:	Prof. Dr. M. Rüsse
Referent:	Prof. Dr. H.-G. Liebich
Korreferent:	Prof. Dr. Dr. habil. H. Petry

Tag der Promotion: 29. Juli 1988

1. KLASSE

2. LITERATUR

3. Hauptkategorie: Allgemeine Literatur

4. Gedichte

1. Arterien

2. Tende

3. Kollisions

4. Wissenschaftlich-literarischer Roman

5. Gedichte

1. Arterien und Tende

2. Kollisions

5. Literaturkritik

1. Kollisions

Meinen Eltern

2. Gedichte: Gedichte der Kunst

3. Gedichte

4. Gedichte

5. Gedichte

6. Gedichte

7. Gedichte

8. Gedichte

9. Gedichte

10. Gedichte

6. Wissenschaftlicher Roman

1. Gedichte

2. Gedichte

3. Gedichte

7. Literaturkritik

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. EINFÜHRUNG	1
II. LITERATUR	
A. Makroskopisch-anatomischer Verlauf der Gefäße	
1. Arterien	2
2. Venen	4
3. Kapillaren	7
B. Mikroskopisch-anatomischer Wandbau der Gefäße	
1. Arterien und Venen	10
2. Lymphgefäße	11
C. Ultrastruktur der Blutgefäße	
1. Glomerulum	15
a. Epithelzellen der Bowman'schen Kapsel	15
b. Podozyten	17
c. Endothelzelle	18
d. Mesangium	19
e. Basalmembran	20
f. Glomerulärer Filter	22
2. Vas afferens und Vas efferens	23
3. Peritubuläre Kapillaren der Rinde	25
4. Peritubuläre Kapillaren des Markes	26
D. Juxtaglomerulärer Apparat	28
1. Epitheloide Zellen	28
2. Laciszellen	31
3. Macula densa	33
E. Feinstruktur der Lymphgefäße	35

	Seite
III. MATERIAL UND METHODE	37
IV. ERGEBNISSE	
A. Ultrastruktur des Corpusculum renis	
1. Epithelzellen der Bowman'schen Kapsel	40
2. Glomerulum	
a. Endothelzellen	42
b. Podozyten	46
c. Blut-Harn-Schranke	50
d. Mesangium	53
B. Die Ultrastruktur der Blutgefäße	
1. Die Gefäßwand am Proximalen Tubulus	55
2. Die Gefäßwand am dünnen Teil der Henle'schen Schleife	64
3. Die Gefäßwand am Distalen Tubulus	
a. Die Gefäßwand an dem dicken Teil der Henle'schen Schleife (Pars recta)	68
b. Die Gefäßwand am Distalen Konvolut (Pars convoluta)	70
4. Die Gefäßwand am Sammelrohrsystem	
a. Die Gefäßwand am Verbindungsstück	73
b. Die Gefäßwand am kortikalen Sammelrohr	73
c. Die Gefäßwand am medullären Sammelrohr	74
5. Die Gefäßwand der Vasa recta	77
6. Die Lymphgefäßwand	80

C. Ultrastruktur des Juxtaglomerulären Apparates	
1. Vas afferens	82
2. Vas efferens	85
3. Epitheloide Zellen	85
4. Laciszellen	87
5. Macula densa	88
V. DISKUSSION	90
VI. ZUSAMMENFASSUNG	106
VII. SUMMARY	108
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	110

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

A	Arteriole
BK	Bowman'sche Kapsel
BM	Basalmembran
D	Diaphragma
DK	Distales Konvolut
DT	Distaler Tubulus
E	Endothelzelle
EpZ	Epiteloide Zelle
ER	Endoplasmatisches Retikulum
EZ	Epithelzelle
F	Fenster
Ff	Fibrozytenfortsatz
Fv	Fettvakuole
Fz	Fibrozyt
G	Golgifeld
HS	Henle'sche Schleife
IS	Interstitieller Spalt
K	Kapillare
Kf	Kollagenfaser
Kfi	Kollagenfibrille
Km	Kernmembran
Ku	Kuppel = Zytoplasmavorwölbung
L	Lumen
Le	Leiste
Ly	Lysosom
Lz	Laciszellen
M	Mitochondrien
MD	Macula Densa
Me	Mesangium
Mf	Mikrofilament
MK	Multivesikuläre Körper
Mp	Mikroprojektion

Mt	Mikrotubuli
Mv	Mikrovilli
MZ	Myozyt
N	Kern
Nk	Nukleolus
Pf	Podozytenfortsatz (I., II., III. Ordnung)
Pl	Plasmalemm
Pp	Podozytenpedikel
Pr	Polyribosom
PT	Proximaler Tubulus
Pz	Podozyt
Sg	Sekretgranula
Sr	Sammelrohr
V	Vakuole
VA	Vas afferens
VE	Vas efferens
Ve	Vesikel
VR	Vas rectum
Vs	Verbindungsstück
Z	Zilie
Za	Zonula adhaerens
Ze	Zentriol
Zg	Zellgrenze
Zo	Zonula occludens

Die in den Abbildungen aufgetragene Linie entspricht einer Länge von 1 μ m.



I. EINFÜHRUNG

In den letzten Jahrzehnten wurde eine überaus große Zahl an morphologischen, experimentellen und klinischen Untersuchungen durchgeführt, um die Funktionsweise der Niere zu erarbeiten.

Der morphologische Grundstein für diese Forschungsarbeiten wurde u.a. von BOWMAN und von v. MÖLLENDORFF gelegt. Bereits in diesen Arbeiten wird das Nephron als kleinste Funktionseinheit erkannt. Einzelne Beiträge zur Gefäßmorphologie folgten (TRUETA et al., 1947; KUGELGEN et al., 1959).

Die Entwicklung der Mikropunktions- und Mikroperfusions-techniken erweiterten unsere Kenntnisse der Funktion. Die Anwendung von elektronenmikroskopischen, histo- und zytochemischen Untersuchungsverfahren haben neues Licht in die Morphologie der Niere gebracht. In den letzten Jahren wurde eine große Anzahl an Arbeiten über die Nierenstruktur, insbesondere der Nierentubuloi verschiedener Säugetiere veröffentlicht. Es fehlen jedoch spezielle Untersuchungen zur Morphologie der Gefäße, die den jeweiligen Tubulusabschnitten zugeordnet sind.

Das Wissen vom Aufbau des Gefäßsystems ist zwingende Grundvoraussetzung, um intrinsische, hormonelle, biochemische und nervale Mechanismen, die die Nierendurchblutung und die Transportmechanismen steuern, besser verstehen zu lernen.

Die vorliegenden Untersuchungen sollen einen Beitrag dazu leisten, die Kenntnisse über die Morphologie der glomerulären und peritubululären Gefäße der Niere des Hundes zu erweitern.

II. LITERATUR

A. Makroskopisch-anatomischer Verlauf der Blutgefäße

1. Arterien

Die A. renalis des Hundes entspringt aus der Aorta abdominalis und zieht in Richtung Nierenhilus. Ein bis zwei Zentimeter vor Eintritt in das Organ teilt sie sich in einen ventralen und einen dorsalen Ast, der jeweils die ventrale bzw. dorsale Nierenhälfte versorgt (v. KUGELGEN/OTTO, 1959; FULLER/HUELKE, 1973).

Aus den Aa. renales dorsales et ventrales gehen je 7-8 Aa. interlobares hervor, die zwischen den Lobi renalis rindenwärts ziehen. Das craniale Polgebiet hat regelmäßig eine unpaare A. interlobaris, die meist aus dem dorsalen Ast der A. renalis hervorgeht (v. KUGELGEN und OTTO, 1959). An der Mark-Rindengrenze entspringen aus jeder A. interlobaris je 4-6 Aa. arcuatae unter einen Winkel, der weniger als 45° beträgt.

V. KUGELGEN und OTTO (1959) unterteilen die Arterien z.T. noch in Ordnungen (I-III). MAROS (1984) bezeichnet die Äste, die aus den Aa. arcuatae entspringen und die Aa. interlobulares abgeben als Aa. sublobulares. Ihre strukturellen Charakteristika sind ihr individueller Ursprung, ihr Aufzweigungstyp und das Fehlen von Glomerula bzw. deren geringe Anzahl.

Nach v. KUGELGEN und OTTO (1959) entstehen aus den Aa. arcuatae durch dichotome Aufteilung die kronleuchterartigen, glomerulaträgenden Aa. interlobulares. Eine A. arcuata trägt ca. 75 Aa. interlobulares. Vereinzelt findet man schon an den ersten Verzweigungen der Aa. arcuatae Glomerula. Die Aa. interlobulares verlaufen, abgesehen

vom ersten Stück, ausnahmslos senkrecht zur Nierenoberfläche. Häufig verzweigen sie sich noch einmal dichotomisch oder geben kleinere glomerulaträgende Ästchen ab (v. KUGELGEN und OTTO, 1959). Von den Aa. interlobulares zweigen sich nach allen Seiten, pro Arterie ca. 35 Vasa efferentia mit den Glomerula ab. Die Länge und die Abgangswinkel der Vasa efferentia sind sehr verschieden. BIALESTOCK (1957) beobachtete an der menschlichen Niere, daß die Vasa afferentia im rechten oder spitzen Winkel von der Arterie abgehen. Die Vasa afferentia versorgen meist ein, gelegentlich auch zwei und mehr Glomerula. Die Form der postglomerulären Gefäße, den Vasa efferentia, ist von großer Mannigfaltigkeit. Es können knäuelartige, netzartige oder einfach langgestreckte Kapillarverzweigungen hervorgehen (TRUETA, 1948; v. KUGELGEN/OTTO, 1957; BEEUWKES, 1971; BEEUWKES/BONVENTRE, 1975). Die juxtamedullären Glomerula geben die Arteriolen rectae medulares (spuriae), diese entsprechen den Vasa efferentia, an das Mark ab. Sie können auch direkt aus den Aa. arcuatae stammen (v. KUGELGEN/OTTO, 1959). Die Arterien des Markes sind kapillarfeine Gefäße, die auch histologisch nicht den Charakter von Arterien haben. Die Aa. capsulares entstehen aus den ersten Verzweigungen der Aa. arcuatae, durchlaufen in gleicher Richtung wie die Aa. interlobulares die Rindensubstanz, geben dabei eine Reihe von Vasa afferentia und Aa. interlobulares ab, gelangen an die Oberfläche, durchsetzen die Capsula fibrosa und treten dann mit einem rechtwinkligen Knick in die Fettkapsel ein, um sich dort weiter zu verzweigen. V. KUGELGEN und OTTO (1959) sahen niemals Kapselarterien ohne rechtwinkligen Knick. Sie sind während ihres Weges durch die Rinde stets dicker als die in gleicher Richtung verlaufenden Aa. interlobulares. Man zählt pro Niere drei bis sechs Kapselarterien (v. KUGELGEN/OTTO, 1957). Es gibt zusätz-

lich Aa. capsulares, die sich aus der A. renalis abzweigen und direkt zur Kapsel ziehen, jedoch ohne Vasa afferentia abzugeben. Arterioarterielle Anastomosen konnten von v. KUGELGEN und OTTO (1957) nicht gefunden werden. Alle Arterien der Niere sind somit Endarterien.

2. Venen

Während das Arteriensystem der Hundeniere einen Gefäßbaum darstellt, hängen alle Venen mit Ausnahme der Vv. corticales nach v. KUGELGEN et al. (1958) und Ferber et al. (1956) untereinander zusammen und dies besonders eng in der Grenzschrift. Die Aufzweigung des Venensystems ist nicht identisch mit der des Arteriensystems, wie dies in älterer Literatur gefordert wurde (z.B. v. Möllendorff, 1930). Die Venen werden entgegen der Fließrichtung des Blutes beschrieben.

Im Unterschied zu den Arterien teilen sich die Vv. renales in je einen cranialen und einen caudalen Ast, bevor dorsale und ventrale Äste gebildet werden, die in einen dorsalen und einen ventralen Fächer ausstrahlen (v. KUGELGEN/ KUHLO, 1959 ; FULLER/HUELKE, 1973).

Aus den Vv. renales zweigen sich 13-17 Vv. interlobares ab, wobei in der dorsalen Nierenhälfte eine unpaare V. interlobaris verläuft, die das Blut aus dem cranialen Pol abführt (v. KUGELGEN und KUHLO, 1959). Die Vv. interlobares sind sehr gleichmäßig verteilt und verlaufen parallel zu den gleichnamigen Arterien in den Rinnen des Nierenbeckens. Dorsale und ventrale Vv. interlobares sind durch die Vv. arcuatae maiores verbunden. Dadurch entsteht an der Mark-Rindengrenze ein charakteristisches Netz aus veno-venösen Anastomosen, aus dem das Blut vermutlich in verschiedenen Richtungen abfließen kann. Ein Äquivalent auf arterieller Seite fehlt.

Die bereits erwähnten Vv. arcuatae maiores, sie erhalten Zufluß aus dem oberflächlichen Venensystem, beherrschen den Gefäßbauplan der Mark-Rindengrenze. Sie verlaufen in der Grenzschicht bogenförmig und parallel zur Nierenoberfläche und anastomosieren vielfach miteinander.

Die sog. Vv. arcuatae minores sind Seitenarme der Vv. arcuatae maiores. Sie haben keinen Zufluß aus dem oberflächlichen Venensystem und sammeln das Blut aus den Vv. corticales profundae, Venulae rectae medullares und den Kapillaren und führen es den Vv. arcuatae maiores zu, die es an die Vv. interlobares weiterleiten. Jede V. interlobares trägt mehrere Vv. arcuatae maiores. In der Nierenrinde sind zwei Venensysteme ausgebildet. Die Vv. corticales profundae bilden einen wichtigen Teil des tiefen Systems. Die Gefäße haben einen Durchmesser von 130-200 µm. Sie leiten das Blut aus der marknahen Rindenhälfte in die Vv. arcuatae maiores und minores und in die hilusnahen Vv. interlobares ab, wobei sie einen 90°-Knick an der Einmündungsstelle in die Arcuatagefäße beschreiben. Aus einer V. corticalis profunda gehen i.d.R. fünf bis zehn gleichstarke Endäste ab, ebenfalls mit einem 90° Knick, wodurch der Eindruck eines Kronleuchters erweckt wird. Die Äste enden unvermittelt als Kapillarnetze, die den Platz für die Glomerula freilassen (v. KUGELGEN et al. 1959).

JONES und O'MORCHOE (1983) entdeckten an der Rattenniere die sog. "intralobulären Venen", die ohne Arterienbegleitung verlaufen.

Als charakterisierende Merkmale dieses Typs werden angegeben:

- die unmittelbare Nachbarschaft von Tubuli
- das Fehlen einer entsprechenden Arterie
- ein ähnlicher Durchmesser wie bei den interlobulären Venen

- aber selteneres Vorkommen
- eine dünne gefensterte Wand und
- mehr als 80% ihres Umrisses hat engsten Kontakt zur Tubuluswand.

Ähnliche Venen fanden diese Autoren auch bei Hund, Katze, Kaninchen und Hamster. Strukturell sind diese Gefäße den Kapillaren ähnlicher als Venen. 75% der Fenster liegen auf der dem Tubulus zugewandten Seite, wobei die Frequenz der Fenster etwas geringer ist, als die in den Kapillaren.

Im peripheren Drittel liegt das System der Vv. corticales superficiales. Der Gefäßdurchmesser beträgt ca. 350 μ m. Sie teilen sich i.d.R. nicht auf und verlaufen senkrecht zur Nierenoberfläche. Es ist somit ein äußerer und ein innerer Venenmantel vorhanden, deren senkrecht zur Nierenoberfläche orientierten Gefäße wie die Borsten zweier einander zugekehrten Bürsten wirken. Auf einen Quadrat-zentimeter jeder Bürste entfallen rund 400 Vv. corticales profundae und superficiales (v. KUGELGEN/KUHLO, 1959). Die einzige Verbindung beider Systeme besteht aus rundmäsigen Kapillaren des Rindenlabyrinthes und den spärlich vorhandenen Vv. interlobulares. Diese durchziehen als einzige venöse Gefäße die gesamte Breite der Rinde. Ihr Durchmesser beträgt 250-850 μ m. Die Venen haben außer den Namen nichts gemein mit den Aa. interlobulares. Die Rindenoberfläche wird durch die Vv. stellatae entsorgt, welche in die Vv. interlobulares münden. Die Vv. stellatae haben eine große Variationsbreite in ihrer Gestalt (vgl. KAZZAZ/SHANKLIN, 1951). Venen und Arterien laufen

in der Rinde getrennt (v. KUGELGEN/KUHLO, 1959). Das Nierenmark ist frei von eigentlichen Venen und Arterien. Die Venen des Markes sind die Vv. rectae medullares, die mit einem Durchmesser von 25-30 μm nur zwei bis drei mal dicker sind als Kapillaren.

Die Nierenkapsel wird von drei bis sechs Kapselvenen entsorgt, die das Blut in die Vv. interlobares ableiten.

3. Kapillaren

Nach KRIZ (1973) erfolgt die direkte Blutversorgung der Rindentubuli durch zwei Kapillarplexus, den dicht vernetzten rundmaschigen des Rindenlabirinth und den lockeren langmaschigen der Markstrahlen. Beide Kapillarplexus bilden sich aus den Vasa efferentia der subkapsulären und intermediären Nierenkörperchen. Die Aufspaltung der Vasa efferentia erfolgt erst unmittelbar vor dem Rindenlabirinth bzw. den Markstrahlen. Beide Plexus fließen über die Labirinthkapillaren ab.

Das Nierenmark ist komplizierter gebaut. Die morphologisch unterschiedlichen Abschnitte der Henleschen Schleife bedingen die bekannte Unterteilung in Außenstreifen, Innenstreifen und Innenzone. Nach KRIZ (1973) sind die zuführenden Gefäße die Vasa efferentia der juxtamedullären Nierenkörperchen, andere zuführende Gefäße sind unbedeutend. Aus den Vasa efferentia bilden sich unter Aufspaltung die arteriellen Vasa recta, die als unverzweigte Gefäße ins Mark absteigen. Sie speisen nacheinander den lockeren Kapillarplexus des Außenstreifens, den dichten, rundmaschigen des Innenstreifens und den langmaschigen der Innenzone.

Aus diesen Plexus entstehen unverzweigte, aufsteigende venöse Vasa recta, die in wechselnder Lage mit den arteriellen Vasa recta die Gefäßbündel des Nierenmarkes bil-

den. Die venösen Vasa recta laufen z.T. außerhalb der Bündel und biegen erst nach und nach, ein Großteil erst an der Innenzone-Innenstreifengrenze, in die Bündel ein. Im Innenstreifen verlaufen die Gefäße dann ausnahmslos in den Bündeln.

Im Innenstreifen entstehen, je nach Spezies in unterschiedlichem Ausmaß, venöse Vasa recta, die sich nicht den Gefäßbündeln anschließen, sondern als weitlumige kapilläre Gefäße den Außenstreifen durchqueren, sich nach und nach vereinigen, z.T. noch in die Markstreifen aufsteigen und dann in die Rindenvenen oder die Vv. arcuatae münden. Genauere Aufschlüsse über die Beziehung zwischen den Vasa efferentia und den Tubuli der Rinde und des Markes der Hundeniere versuchten BEEUWKES (1971), BEEUWKES und BONVENTRE (1975) zu erhalten.

BEEUWKES (1971) fand eine enge Beziehung zwischen efferentem kapillärem Netzwerk und Proximalem Tubulus desselben Glomerulum nur in der subkapsulären Rinde. Im größten Teil der Rinde waren Proximaler Tubulus und efferentes Gefäß desselben Glomerulum getrennt. Bei den Untersuchungen von BEEUWKES und BONVENTRE (1975) ergab sich, daß die Beziehungen zwischen den Vasa efferentia und den peritubulären Kapillaren je nach Nierenregion verschieden sind. Dadurch werden die Differenzen in den Aussagen früherer Autoren verständlich. Die Proximalen und Distalen Tubuli von aus dem subkapsulären Raum stammenden Glomerula werden vom Vas efferens bzw. aus ihm stammenden Kapillaren desselben Glomerulum gespeist. In der mittleren Rindenzone verhalten sich die Efferenzen der Glomerula unterschiedlich. Einige Vasa efferentia versorgen mehrere Nephronen, wobei z.T. auch das Nephron des eigenen Glomerulum versorgt wird. Andere Efferenzen treten in den nahegelegenen Markstrahl ein, der die Nephronen oberflächlicher Glomerula enthält. Die Vasa efferentia der inner-

kortikalen Glomerula teilen sich abrupt auf, um die Gefäßbündel zu bilden, welche ins Mark absteigen.

Die Efferenzen der juxtamedullären Glomerula versorgen als arterielle Kapillaren die Innenzone des Markes bis nahe an die Papillenspitze.

V. KUGELGEN und BRAUNGER (1962) untersuchten die quantitative Entfaltung der Kapillaren im Mark und in der Rinde der Hundeniere. Vom Gesamtvolumen der Niere beanspruchen die Rindenkapillaren 9%, die Markkapillaren 12%, die Glomerula 4%, das Interstitium einschließlich aller größeren Gefäße 22%.

Zahl und Fassungsvermögen der Markkapillaren und die relativ geringe Zahl an Tubuli machen das Mark zu einem "potentiellen Blutschwamm". KRIZ (1973) unterstützt in seiner Arbeit die Auffassung von V. MÖLLENDORFF, daß sich die Henle'schen Schleifen konzentrisch um die Gefäßbündel anordnen. Diese Vorstellung ist im lichtmikroskopischen Querschnittsbild des Außenstreifens verschiedener Tiere gut nachvollziehbar. Dem Gefäßbündel am nächsten liegen die Schleifen der juxtamedullären Nephrone, gefolgt von denen aus der mittleren Rinde und am weitesten entfernt liegen die subkapsulären.

In der Architektur des Innenstreifens bestehen erhebliche Speziesunterschiede. Bei Mensch, Hund, Katze und Goldhamster ist weder eine eindeutig konzentrische Anordnung, noch eine vorwiegende Zuordnung der absteigenden Schleifenschenkel zu den Gefäßbündeln zu erkennen. In der Innenzone befinden sich zwischen den Gefäßbündeln zu Gruppen zusammengelagerte Sammelrohre. Dünne Schleifenschenkel liegen im Bereich der Gefäßbündel und der Sammelrohrgruppen. Diese Anordnung gilt für Mensch, Hund, Hamster, Ratte u.a. (KRIZ, 1973).

Der Hund besitzt eine sehr massive, breitbasige Innenzone mit ausschließlich langen Schleifen. Weitere Literatur

für die Gefäßarchitektur in ihrer Beziehung zu den Nierenkanälchen findet sich bei ROLLHAUSER et al. (1964, Ratte), KRIZ (1967, Ratte), KRIZ und KÖPSEL (1974, Maus) und BEEUWKES und BONVENTRE (1975, Hund).

B. Mikroskopisch-anatomischer Wandbau der Gefäße

1. Arterien und Venen

Während die Arterien der Niere dem bekannten Strukturbild arterieller Gefäße entsprechen, fallen die intrarenalen Venen durch ihre Dünnwandigkeit auf, welche die Unterscheidung von Kapillaren vielfach erschwert.

Nach DIETERICH (1978) besteht die Wandung von Vv. interlobares, arcuatae und interlobulares der Rattenniere aus einem Endothel mit Poren, die durch Diaphragmen verschlossen sind. Streckenweise wird das Endothel dieser Venen von glatten Muskelzellen, Fibroblasten und Kollagenfaserbündeln umgeben. Die intrarenalen Venen der Ratte dienen nicht nur dem Blutabfluß, sondern erfüllen auch Kapillarfunktionen. Von ihrer Umgebung werden die Aa. interlobares, arcuatae und interlobulares durch eine paravasale Bindegewebsscheide getrennt (DIETERICH, 1973, 1978), während die entsprechenden Venen unmittelbar an das Parenchym grenzen. Dies fällt bereits bei lichtmikroskopischer Vergrößerung auf. Das perivasale Gewebe ist an den Aa. interlobares am stärksten, geringer an den Aa. arcuatae und am schwächsten an den Aa. interlobulares ausgebildet. Dieses Gewebe besteht aus Fibrozyten, deren Fortsätze Kammern mit unvollständiger Wandung bilden. Die von JONES und O'MORCHOE (1983) genannten Vv. intralobulares sind auffallend dünn. Sie bestehen aus einer Intima, die ein abgeflachtes Endothel, eine feine Basalmembran

und gelegentlich Kollagenfasern umfaßt. Die Intima ist entweder eng an die Nachbarschaftsstruktur gelagert oder umgeben von einer unterschiedlichen Menge an Kollagen, Fibroblasten und vereinzelt glatten Muskelzellen.

In den Interlobarvenen sind alle Wandschichten enthalten. Zum Tubulus ist nur eine spärlich ausgeprägte Adventitia aus lockerem Bindegewebe entwickelt.

Die Basalmembranen liegen aneinander und sind in manchen Fällen verschmolzen. Die Stärke des Endothels von Vv. arcuatae, Vv. interlobulares und der Kapillaren unterscheidet sich nicht.

Die Endothelien sind gefenstert. Die Frequenz der Fenster ist unterschiedlich. Nach Vereinigung der Rindenkapillaren nehmen die Mündungsgefäße das Blut auf. Sie unterscheiden sich von den Kapillaren nur durch ihr Kaliber. Sie liegen den Tubuli eng an (KRIZ, 1973).

Elektronenoptisch findet sich als Wandung ein 100-200 nm dickes Endothel, das einzelne Poren mit einem Diaphragma aufweist. Die Basalmembran ist regelmäßig ausgebildet und verschmilzt z.T. mit der des Tubulus. An anderen Stellen sind die Basalmembranen durch kollagene Filamente getrennt.

2. Lymphgefäße

Wie das Blutgefäßsystem, so entspricht auch das System der Lymphbahnen der Säuger einem einheitlichen Bauplan.

Dies zeigen die Befunde von KRIZ und DIETERICH (1970) an Nieren von Hund, Katze, Meerschweinchen, weißer Ratte, Bismarratte, Merinos, weißer Maus und Goldhamster.

Als Lymphgefäße definierten KRIZ und DIETERICH (1970) solche Strukturen, die von einem geschlossenen Endothel ausgekleidet sind oder deren Wand zumindest aus einem weitgehend geschlossenen Endothel besteht.

Somit gehören drei Gefäßtypen dem Lymphgefäßsystem an:

- a. die Lymphkapillare, die nur aus einem Endothel besteht;
- b. das ableitende Lymphgefäß, bestehend aus einem Endothel und einer Membrana accessoria, die aus Bindegewebe und meist auch glatter Muskulatur aufgebaut ist;
- c. die großen Lymphstämme, die Trunci lymphatici.

Zwischen den Lymphkapillaren und den ableitenden Lymphgefäßen gibt es noch die sog. postkapillären Lymphgefäße, die kapillären Wandbau und Klappen besitzen (KRIZ/DIETERICH, 1970). Unter die obengenannte Definition fallen "Lymphspalten" und "-scheiden" nicht. Sie sind Anteile des interstitiellen Raumes.

Die Lymphgefäße werden hier entgegen der Fließrichtung ihrer Lymphe beschrieben.

Am Nierenhilus verlassen vier bis zwölf klappenreiche, großkalibrige Lymphgefäße, die Hiluslymphgefäße, zusammen mit Arterien und Venen im perivasalen Gewebe, einem flüssigkeitsreichem Bindegewebe, die Niere. Ihre Wand besteht aus einem schmalen, lückenlosen Endothel, das von einer unvollkommenen Basalmembran unterlagert wird. Die Membrana accessoria setzt sich aus kollagenen Fasern mit eingestreuten Fibrozyten zusammen. Vereinzelt finden sich glatte Muskelzellen direkt unter dem Endothel (KRIZ/DIETERICH, 1970).

Zwei bis fünf, gelegentlich auch nur ein Interlobarlymphgefäß verlaufen mit den gleichnamigen Blutgefäßen in den Bindegewebspfeilern. Diese Lymphgefäße verlaufen bereits häufiger in Begleitung der Arterien als der Venen. Auch hier handelt es sich zum großen Teil um großkalibrige Gefäße. Es ist außerdem der klappenreichste Lymphgefäßabschnitt. Häufige kleine Lymphgefäße sind Zuflüsse und Verbindungen größerer Gefäße und damit Ausdruck einer

starken Anastomosierung untereinander (KRIZ/DIETERICH, 1970; O'MORCHOE/ALBERTINE, 1980). Eine geschlossene Membrana accessoria fehlt.

Die folgenden Lymphgefäße, die die Vasa arcuata begleiten, sind die letzten klappenführenden Lymphgefäße. Sie besitzen davon wenige und ihr Kaliber ist kleiner als bei den vorhergehenden Lymphgefäßen. Insgesamt werden sie dem Typus der postkapillären Lymphgefäße zugeordnet. Die Wandteile, die von einer Membrana accessoria unterlagert werden, sind zunehmend seltener anzutreffen.

Auch diese Lymphgefäße bilden Geflechte um die Blutgefäße (KRIZ/DIETERICH, 1970). Sie gehen in die Interlobularlymphgefäße über, die zusammen mit den Aa. interlobulares radiär in der Rinde aufsteigen. Diese Lymphgefäße sind Lymphkapillaren mit einem Durchmesser, der in etwa dem einer Blutkapillare entspricht. Sie liegen im periarteriellen Gewebe; die Venen werden nicht mehr von Bindegewebe umscheidet.

Im marknahen Teil der Aa. interlobulares findet man häufig noch zwei bis drei Lymphkapillaren pro Arterie, im mittleren Teil im allgemeinen nur noch eine.

KRIZ und DIETERICH (1970) haben nie beobachtet, daß ein Lymphgefäß aus dem perivasalen Gewebe ausbiegt und zwischen den Tubuli zu liegen kommt und somit ohne Arterienbegleitung verlaufen würde. Nur in drei Fällen sahen sie eine Lymphkapillare noch im Bereich eines Vas afferens bzw. eines Glomerulum. Doch in diesen Fällen war eine A. interlobularis in unmittelbarer Nachbarschaft. KAISLING/KRIZ (1977), finden beim Kaninchen den gleichen prinzipiellen Aufbau.

GORGAS (1978) erhebt an der Rattenniere z.T. etwas abweichende Befunde. Die Lymphgefäße verlaufen im perivasalen Gewebe und lassen sich bis in die subkapsulären Regionen verfolgen. Sie begleiten die Vasa afferentia von

intermediär und juxtamedullär gelegenen Glomerula, dringen aber selten bis zum Gefäßpol vor. Glomerula, die von einem gemeinsamen Vas afferens versorgt werden, weisen in unmittelbarer Nachbarschaft der Hilusregion häufiger Lymphgefäße auf.

O`MORCHOE und ALBERTINE (1980) untersuchten die Lymphgefäße der Hundeniere. Dabei fanden sie interlobuläre Lymphgefäße, welche denen von KRIZ und DIETERICH (1970) beschriebenen entsprechen. Es wird ihrer Aussage zufolge jedoch nur ein Drittel der Aa. interlobulares von Lymphgefäßen begleitet. Der Durchmesser der Blutgefäße ist größer als der der Lymphgefäße. Abweichend von KRIZ und DIETERICH (1970) fanden O`MORCHOE und ALBERTINE (1980) sog. intralobuläre Lymphgefäße. Diese verlaufen mit den afferenten Arteriolen. Gelegentlich werden sie in engem Kontakt mit dem parietalen Blatt der Bowman'schen Kapsel gesehen. Sie stehen in enger Beziehung zu tubulären Elementen und den peritubulären Blutkapillaren. Sie sind weder Arterien noch Venen benachbart. 13% der Lymphgefäße verlaufen zwischen den Tubuli ohne Arterienbegleitung.

Im Mark wurden weder von KRIZ und DIETERICH (1970) noch von O`MORCHOE und ALBERTINE (1980) Lymphgefäße gefunden. Bei einer weiteren Untersuchung an der Hundeniere von ALBERTINE und O`MORCHOE (1980) wurden wieder keine Marklymphgefäße, mit einer Ausnahme, gefunden. In einer Niere von hundert wurden in einem Gefäßbündel an der kortikomedullären Grenze drei Lymphgefäße gesehen. Die Untersucher halten dieses Auftreten medullärer Lymphgefäße für selten und damit funktionell für nicht signifikant. Ein

Lymphsystem im Mark scheint ihnen nicht existent. Ihrer Meinung nach wird das Mark über interstitielle Spalten und weiter über die Arcuata- und /oder Interlobularlymphgefäße entsorgt.

Auch KRIZ und DIETERICH (1970) sind der Ansicht, daß das perivasale Gewebe und die Lymphgefäße eine Einheit bilden.

C. Ultrastruktur der Blutgefäße

1. Glomerulum

Die Angaben zur Zahl der Glomerula pro Niere sind sehr unterschiedlich. Sie ist abhängig vom Körpergewicht. Je größer das Gewicht, desto mehr Glomerula existieren (SCHMEER, 1940).

V. KUGELGEN et al. (1959) zählten eine durchschnittliche Nierenkörperchenzahl von 200 000/Niere beim Hund.

SELLWOOD und VERNEY (1955) errechneten bei einem 19,5 kg schweren Hund 630 000 Glomerula.

Größenunterschiede lassen sich zwischen den kortikalen und den größeren juxtamedullären Glomerula feststellen (KAISLING/KRIZ, 1979). VIMTRUP (1928) errechnete für den erwachsenen Menschen eine Filtrationsfläche von $0,78\text{m}^2$ /Glomerulum.

a. Epithelzellen der Bowman'schen Kapsel

Die Bowman'sche Kapsel bildet i.d.R. einen apfelförmigen Ballon. Der Kapselraum wird von einem polygonalen, einschichtigen und abgeplatteten Epithel ausgekleidet, das am Gefäßpol des Nierenkörperchens in die Schicht der Podozyten ohne Zwischenzellen übergeht (FORSSMANN, 1973). Bereits lichtmikroskopisch kann die BM, die das parietale

Blatt unterlagert, gesehen werden. Durch feine Kollagenfibrillen wird die Bowman'sche Kapsel im Interstitium verankert. Das Zytoplasma der parietalen Epithelzellen enthält wenige Mitochondrien, einige Zisternen des rauen endoplasmatischen Retikulums (ER), einige Ribosomen und einen kleinen Golgiapparat (G). Die Zellgrenzen überlappen einander und Zonulae occludentes ausgebildet (TAUGNER et al., 1976, FORSSMANN, 1973). Die basale Fläche der Epithelzelle wird von Filamentbündeln durchzogen, wobei es sich nach UNSICKER und KRISCH (1975) vermutlich um Aktinfilamente handelt.

Am Gefäßpol tritt die Arteriola afferens ein, teilt sich auf unterschiedliche Art und Weise, um dann als Vas efferens das Blut aus dem Glomerulum abzuleiten (BOYER, 1956). Varianten der Gefäßaufteilung werden bei SPINELLI et al. (1972) für Hund und Ratte beschrieben. MURAKAMI (1976) konnte vereinzelt doppelte Arteriolae efferentes feststellen. Nach Untersuchungen von SPINELLI (1974) bestehen die einzelnen Kapillarläppchen des Glomerulum aus einfach verzweigten Schlingen, welche wiederum innerhalb des Läppchens durch Anastomosen verbunden sind. Ferner kommen Verbindungen zwischen den Läppchen vor.

ROVENSKA (1983) beschreibt "dünne interkapilläre Anastomosen" in der Rattenniere. Sie verbinden die eigentlichen Kapillarschlingen, indem sie sich davon abzweigen. Die dünnen Anastomosen sind zahlreich, haben den gleichen Wandbau wie die Kapillaren und ihre Lumina betragen 0,1-0,9 μm , einige sind verschlossen. Dies könnte präparationsbedingt sein. Ihre Wände liegen aneinander und die BM ist in Falten gelegt. Eine Kapillarschlinge besitzt jeweils mehrere "dünne interkapilläre Anastomosen".

b. Podozyten

Die Podozyten bestehen aus einem Zellkörper, der je nach Raum sich kissenartig vorwölbt oder sich flach und lang ausstreckt. Sie besitzen einen großen locker strukturierten Kern, der eine runde bis ovoide Form aufweist. Der Zellkörper entsendet tentakelartige Arme, die die Kapillarschlingen umgreifen. Diese armartigen Fortsätze erster Ordnung zweigen Fortsätze zweiter und diese Fortsätze dritter Ordnung ab. Die Länge der Fortsätze und die Winkel unter denen sie abgegeben werden, variieren. Die Sekundär- und Tertiärfortsätze entsenden meistens rechtwinklig abgehende Endfüßchen, die parallel zueinander verlaufen. Gelegentlich verbinden sich zwei Arme erster Ordnung. Die Podozytenfortsätze enthalten Mikrotubuli. Die Endfüßchen sitzen der BM auf. Sie erscheinen kurz und dick oder länger und schlanker. Verfolgt man die Pedikel bis zu ihrem Ursprung, so wechseln sich die Pedikel einer Zelle mit denen anderer Zellen ab. Benachbarte Füßchen sind getrennt durch einen Raum von $0,02-0,04\ \mu\text{m}$ (ANDREWS et al., 1974; FUJITA et al., 1976). Das Rasterelektronenmikroskop zeigt eine dünne Membran (6 nm), die die benachbarten Pedikel, knapp über der Stelle, wo sie der BM aufsitzen, verbindet. Bei der Ratte werden ineinandergreifende Füßchen werden oft durch einen schmalen Zytoplasmastreifen verbunden, der annähernd $0,1\ \mu\text{m}$ lang ist und einen Durchmesser von $0,02-0,17\ \mu\text{m}$ hat (ANDREWS/PORTER, 1974). FUJITA et al. (1976) konnten keine Brücken finden.

Die Oberfläche der Podozyten und ihre Fortsätze besitzen Mikroprojektionen unterschiedlicher Ausprägung (ANDREWS/PORTER, 1974).

VASMANT et al. (1984) beobachteten Mikrotubuli in Podozyten (Mensch, Ratte) in enger Nachbarschaft zum Golgiapparat und in Fortsätzen erster Ordnung entlang der Haupt-

achse.

Sie sind in Bündeln zusammengelagert. Ein Netzwerk von "intermediate filaments" wurde im Zellkörper und in den Hauptfortsätzen parallel zu den Mikrotubuli nachgewiesen. Einige Mikrofilamente wurden auch in den Pedikeln nahe der Plasmamembran gefunden.

Nach HUMBERT et al. (1976) sind die Zellen durch Zonulae- und Maculae occludentes verbunden. Außerdem wurden Gap junctions nachgewiesen.

c. Endothelzelle

Die Glomerulumkapillaren werden von einem flachen Endothel eingefasst. Der Zellkern liegt auf der Seite des Mesangiums, ist also dem Lumen der Kapillare abgewandt. Dennoch wölbt sich der Teil des Zellkörpers, der den Kern enthält, ins Lumen vor, der übrige Zellkörper ist flach (FUJITA et al., 1976; LATTA et al., 1960; ANDREWS et al., 1976). Die luminale Oberfläche enthält Verdickungen und Kämme, die von der Kernportion der Zelle ausgehen und z. T. anastomosieren. Zwischen sich bilden sie Felder, welche Poren enthalten, die häufig nicht verschlossen sind (SPINELLI, 1974; ANDREWS et al., 1974; FUJITA et al., 1976). Die Porengröße wird von FUJITA et al. (1976) zwischen 30 und 150 nm und von ANDREWS et al. (1974) zwischen 50 und 100 nm, nach FORSSMANN, (1973) mit 80 nm angegeben. Diese ist abhängig von der Fixationsmethode. Die Fenster nehmen 30-46% der Endothelwand ein. Sie sind durch Brücken von ca. 80 nm Breite getrennt. Die Poren sind entweder polygonal oder rund. Vor allem dort, wo sich an der Zelloberfläche die Verdickungen befinden, ist nach Untersuchungen von ANDREWS et al., 1974; der Zellkörper durch Mikrotubuli verstärkt. Es können Mikrovilli (FUJITA et al., 1976; ANDREWS et al., 1974) und Zilien (ANDREWS et al., 1974) ausgebildet sein. Die meisten

Mikrovilli sind etwa 100 nm dick und nicht länger als 1 μ m. Sie können auch miteinander verschmelzen und ein Maschennetz bilden, das dieselbe Dimension hat wie die Poren (FUJITA et al., 1976). VASMANT et al. (1984) fanden beim Menschen und der Ratte Mikrotubuli und "intermediate filaments" in der Gegend des Kerns und des Golgifeldes. Intermediäre Filamente bilden in der gesamten Zelle ein loses Netzwerk aus, ohne ersichtliche Verbindung zu Organellen. Mikrofilamente wurden um die Poren gesehen. Bündel von Mikrotubuli wurden im Zytoplasma parallel zu BM identifiziert. Nahe den Zellverbindungen werden die Mikrotubuli von intermediären Filamenten unterstützt.

d. Mesangium

Das Mesangium wird begrenzt von den Endothelzellen, die es vom Kapillarlumen trennen, den Podozyten und den Epithelzellen der Kapsel. Nach FORSSMANN (1973) ist das Mesangium als Derivat des perivaskulären Mesenchyms mit den Glomerulumschlingen eingewandert. Die Mesangiumzelle könnte einer modifizierten Muskelzelle (PEASE, 1968) entsprechen und der Beeinflussung der Durchblutung und/oder der Phagozytose und dem Stofftransport dienen, (MICHAEL et al., 1980). FORSSMANN et al. (1973) wiesen mit Peroxidase und Ferritin Phagozytose der Mesangiumzelle nach. MICHAEL et al. (1980) fanden keinen Beweis, daß die Mesangiumzelle der mononukleären Phagozytosereihe, wie der Lungenmakrophage entstammt. Auch sie weisen auf Phagozytose und Transporttätigkeit und auf Plasmafluß durch die Mesangiumzelle hin. Über Antigenversuche zeigen sie das Vorhandensein von Aktin und Myosinfilamenten. GORGAS (1978) macht auf die enge Beziehung zwischen typischen glatten Muskelzellen, epitheloiden-, Lacis- und Mesangiumzellen am Gefäßpol des Glomerulum der Ratte aufmerksam. Die Mesangialzellen besitzen Zytoplasmafortsätze und

enthalten eine Reihe von Organellen, einschließlich Mikrofilamenten. Nach LATTI et al. (1960) dringen die Fortsätze nie in das Kapillarlumen vor. MELMAN et al. (1984) teilen die Fortsätze in drei Subtypen:

Typ I: An der Kontaktstelle ist das Endothel verdickt, eine BM ist nicht nachzuweisen, die elektronenmikroskopische Dichte des Fortsatzes ist geringer und die Zellorganellen sind weniger als in der übrigen Zelle.

Typ II: Der Fortsatz wölbt sich ins Lumen vor.

Typ III: Der Fortsatz penetriert und endet blind im Lumen. Die Zytoplasmamembran der anliegenden Zelle kann zerstört sein. Es sind keine Organellen zu finden. Dieser Typ III kommt wesentlich seltener vor als Typ I und II.

Dank der Abwesenheit der BM können die Mesangiumfortsätze in direkten Kontakt mit der Endothelzelle treten (MICHAEL, 1980).

e. Basalmembran

FORSSMANN (1973) beschreibt die BM als dreischichtige Membran, bestehend aus der Lamina rara interna, L. densa und L. rara externa. Die Breite ist abhängig von Spezies, Alter und äußeren Bedingungen (LATTI, 1960): Die äußere, weniger dichte Lage ist ca. 61 nm stark und verläuft zwischen der dichten Lage und dem epithelialen Zytoplasma. Das innere Blatt ist ca. 31 nm stark, die Dichte ist variabel. Ein dichtes Band, das das fenestrierte Endothel unterlagert ist weniger häufig zu sehen. Das Blatt hat oft annähernd die Dichte der interzellulären Substanz. FUJITA (1976) erscheint die BM unter dem Rasterelektronenmikroskop als homogene, granulierte, ziemlich kompakte Substanz ohne fibrillärer Struktur, die

jedoch bei "grazing fracture" in Lagen bricht.

OTA et al. (1980) erscheint die BM wie ein Aggregat von feinen Fasern und Fäden. Viele Bilder beweisen dieses feine Netzwerk. OTA et al. (1977) untersuchten die menschliche und bovine BM. Beide Spezies zeigen definierte Netzwerkstruktur. Die Poren der bovinen BM scheinen pentagonal bis hexagonal zu sein. Die Fäden der BM zweigen sich dreidimensional auf. Prinzipiell ist der Bau beider BM gleich, nur sind die menschlichen Poren kleiner.

Die Anordnung der Filamente läßt eine gewisse Periodik erkennen. Ihre minimalen gegenseitigen Abstände verteilen sich um einen Mittelwert der zwischen 20 und 2,5 nm liegt. Der durchschnittliche Filamentabstand entspricht den granulären Partikeln auf der äußeren Plasmamembranoberfläche. An BM-Flachschnitten kommt ein System grober, polygonaler Maschen (30-50 nm) und ein System enger Poren (5-10 nm) zur Darstellung. Ob diese engen Poren durch optische Überschneidung großer Poren entstehen, bleibt zu klären (BAR, 1973). Nach FORSSMANN (1973) ist die BM für Ferritin und Katalase durchlässig. Seine Ergebnisse sprechen dafür, daß die Permeabilitätsgrenze für Partikel bei 12 nm liegt. Die BM enthält ein Kollagen, das aus drei identischen α -Ketten besteht und sich durch einen hohen Hexose- und Hydroxyllysingehalt von anderen interstitiellen Kollagenen unterscheidet (KEFALIDES, 1971).

Biochemische Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die BM aus kollagenen und nicht kollagenen Glykoproteinuntereinheiten zusammengesetzt ist (CARLSON/KENNEDY, 1982). Die genaue Zahl und Verteilung der Makromoleküle ist noch unklar. Die Untersuchungen ergaben, daß die Strukturen der BM in der Nierenrinde zwischen den Spezies variieren.

MICHAEL et al. (1980), LATTI (1975), und HUANG (1979) be-

richten von zwei Arten der glomerulären BM. Einer elektronenoptisch opaquen BM, die die Kapillaren nicht umrandet (epitheliale BM) und einer glänzenden, die sich vom peripheren Mesangium erstreckt und die Kapillare als anliegende Struktur umgibt.

Nur im Bereich der Kontaktstelle zwischen Mesangiumfortsatz und Kapillare fehlt die BM (MELMAN/SHUTKA, 1984).

f. Glomerulärer Filter

FORSSMANN (1973) definiert den Glomerulumfilter als eine dreischichtige Membran, deren Porenweite von der inneren zur äußeren Schicht abnimmt. Die erste Schicht ist das Endothel mit einer Porenweite von durchschnittlich 20 nm. Es folgt die zweite, die BM, deren Poren 12 nm messen und drittens, die Podozytenmembran mit Poren von 7,5 nm.

Auf Grund der 1975 zur Verfügung stehenden Belege, kam FARQUAR (1975) zu dem Schluß, daß die glomeruläre BM der Hauptfilter sei, nicht die Schlitzmembran der Podozyten, da die Masse der benutzten Tracer von der BM abgefangen wurde.

SCHURER et al. (1980) beschreiben eine dreifache Filterbarriere.

a. Lamina rara interna

Auf Grund der spärlichen Produktion von Prokollagen durch die Endothelzelle, das Vorliegen von Fenstern und die Fragmentation des Netzwerkes sind die Anionenbindungsstellen, die Kationen wie Polyäthylenamine binden, unregelmäßig verteilt. Darum kann hier nur ein Vorfilter liegen, der große Anionen, wie Serumalbumine, aufhält.

b. Lamina densa, Hauptbarriere

Durch die dicht gepackten Kollagenmoleküle wirkt diese Lage als mechanischer Filter.

c. Lamina rara externa und Schlitzmembran

Sie wird gebildet durch die Lamina rara externa und die Schlitzmembran. Hier sind die "anionic glykoprotein kollagen aggregates" wesentlich regelmäßiger verteilt als in der L. rara interna. Das Prokollagen wird hier in größeren Mengen von den Endothelzellen gebildet.

Eine zusätzliche Rolle für die Filtration spielt die Albuminschicht auf der endothelialen Seite der BM, obwohl sie kein Element der BM ist (SCHURER et al., 1980).

2. Vas afferens und Vas efferens

LUNGQUIST (1975) beschreibt das Vas afferens der Ratte als das weitleumigere Gefäß, indessen Media glatte Muskelzellen und epitheloide Zellen mit granulierten Zytoplasma zu sehen sind.

Nach Untersuchungen von FUJITA et al. (1976) wird das Vas afferens von einem Endothel begrenzt, dessen Kernportion unregelmäßig vorgewölbt ist. Es hat eine relative glatte Oberfläche, abgesehen von vereinzelt auftretenden Mikrovilli. Poren fehlen, sie beginnen erst 20 µm nach Eintritt ins Glomerulum. Der Wechsel zum fenestrierten Endothel ist abrupt. Der extraglomeruläre Teil des Vas afferens ist durch einige Lagen der juxtaglomerulären Zellen bedeckt.

GORGAS (1978) bringt folgende Beschreibung:

Die afferente Arteriole weist in proximalen Regionen meist nur eine Lage zirkulär verlaufender glatter Muskelzellen auf, während sie in glomerulumnahen Abschnitten zwei und mehr Schichten besitzt. Sie orientieren sich kontinuierlich von zirkulärhelikaler Anordnung in Längsrichtung des Gefäßes. Durch die Ausbildung zahlreicher langer, fingerförmiger und plattenartiger Ausläufer nehmen die Zellen im Hilusbereich die Form von weitverzweigten glatten Muskelzellen an; deren Anordnung außerordent-

lichkomplex erscheint. Die dünne Membrana elastica interna splittert sich in ein Netzwerk feinsten elastischer Fasern auf, das kurz vor dem Gefäßpol endet. Die Endothelzellen zeigen in ihrer Ausrichtung im Gefäßverlauf ein den glatten Muskelzellen vergleichbares Verhalten. Sie nehmen in der Hilusregion längliche bis polygonale Gestalt an und weisen zirkuläre Anordnung auf. Ein bis zwei lamellär differenzierte Zytoplasmaausläufer von Fibrozyten umgeben diskontinuierlich das Vas afferens.

Sie breiten sich unter Bildung eines weitmaschigen Netzwerkes zwischen den glatten Muskelzellen und den Tubulusepithelien bzw. den peritubulären Kapillaren aus. In diese lockere Bindegewebshülle strahlen dünne Kollagenfibrillen und ein Geflecht von Mikrofibrillen ein.

Das Vas efferens wird gebildet durch den Zusammenfluß der Kapillarschlingen des Glomerulum. Die Media dieser Arteriole enthält glatte Muskulatur, aber die Wand ist dünner als die des afferenten Gefäßes. Eine Anastomose, die nach LUNGQUIST (1975) das afferente und efferente Gefäß verbindet und somit einen extraglomerulären Kurzschluß bildet, enthält keine glatten Muskelzellen. Nach dem Bericht von FUJITA et al. (1976) wird das efferente Gefäß von einem Endothel gesäumt, das längsgerichtete, verlängerte Kernportionen besitzt. Die innere Oberfläche ist dicht mit Mikrovilli besetzt. Diese Struktur behält die Endothelzelle bis 20 µm nach Eintritt in die Kapsel bei, wo sie ins fenestrierte Endothel wechselt.

GORGAS (1978) beschreibt das Vas efferens wie folgt:

Der Wandbau des Vas efferens ist von der Lokalisation des zugehörigen Glomerulum in der Rinde abhängig. In subkapsulär gelegenen Nierenkörperchen weist die postglomeruläre Arteriole meist nur ein bis zwei Lagen glatter Muskelzellen auf, während sie in marknahen Regionen vor der Aufzweigung in die Vasa recta bis zu vier Schichten

besitzt. In der Hilusregion beobachtet man stets verzweigte glatte Muskelzellen, die in kortikalen Nierenkörperchen häufig spezifische Sekretgranula enthalten. Die epitheloiden Zellen gehen kontinuierlich in langgestreckte glatte Muskelzellen über, die sich durch zahlreiche Verdichtungszone und hohen Gehalt an Myosinfilamenten und Glykogenpartikel auszeichnen. Granulierte Zellen kommen auch in einiger Entfernung vom Gefäßpol in der Wand des Vas efferens vor. Sie liegen zwischen Perizyten und unter dem Endothel, das außer zahlreichen, perl schnurartig aneinandergereihten Oberflächenvesikeln keine Besonderheiten aufweist.

3. Peritubuläre Kapillaren der Rinde

Die intertubulären Kapillaren bestehen aus einem dünnen Endothel, das einer BM aufliegt (PEASE, 1955; DIETERICH, 1973 u.a.).

An den Endothelzellen läßt sich ein kernhaltiger und ein porenhaltiger Abschnitt unterscheiden. Der erstere befindet sich meist in dem Zwickel, der zwischen zwei benachbarten Tubuli entsteht (LANGER, 1975). Der ovale Kern wird von einem schmalen Zytoplasmasaum umgrenzt. In den mäßig dichten Grundplasma finden sich kleine Mitochondrien, einzelne glatte und rauhe Anteile des endoplasmatischen Retikulums, sowie freie Ribosomen. Daneben sieht man regelmäßig kleine Mikropinozytose- und Zytopenesisvesikel, z.T. in Verbindung mit der Zellmembran, z.T. im zytoplasmatischen Binnenraum. Der porenhaltige Abschnitt schließt unmittelbar an den kernhaltigen an. Der Porendurchmesser liegt nach LANGER (1975) zwischen 40 nm und 60 nm im Querschnitt, im Flachschnitt zwischen 45 nm und 75 nm. Die Poren werden von einem ca. 4-6 nm dicken Diaphragma verschlossen, das häufig eine zentral gelegene, knopfartige Verdickung von etwa 9 nm Durchmesser erkennen

läßt (LANGER, 1975). MAUL (1971) beschreibt eine charakteristische Substruktur des Diaphragmas. Zentral liegt ein Ring (Durchmesser ca. 3,5 nm), von ihm strahlen Fasern zu einer zweiten Ringstruktur (Durchmesser ca. 15-25 nm) aus. An manchen Fenstern findet MAUL (1971) zwei Diaphragmen. Diese Feststellung wird von LANGER (1975) bestätigt. LANGER hat niemals Poren ohne Diaphragma gesehen. In der Regel enthält das Zytoplasma der porenhaltigen Abschnitte nur eine feingranuläre Grundsubstanz und einige wenige Polysomen. Vereinzelt vorkommende Mitochondrien führen zu einer umschriebenen Verbreiterung des flachen Zelleibes. Davon abzugrenzen sind ausgedehnte flache Endothelabschnitte, welche keine Poren aufweisen. Hier finden sich i.d.R. einfache zytopenische Bläschen. Auffallend ist, daß die Endothelabschnitte mit und ohne Poren nach LANGER (1975) eine bevorzugte Zuordnung zu bestimmten Tubulusabschnitten erkennen lassen. Porenhaltige Abschnitte grenzen regelmäßig an Proximale (längere porenfreie Abschnitte gibt es an diesem Tubulusteil nicht), porenfreie überwiegend an Distale Tubuli. Die Zellgrenzen überlappen sich häufig. Es lassen sich extrem kurze Tight junctions (5 nm), häufiger jedoch Gap junctions mit einem 3 nm breiten Spaltraum nachweisen (LANGER, 1975). Die luminale und interstitielle Seite der Endothelzelle werden von einer 6-8 nm breiten Glykokalix überzogen. Die BM ist ca. 3-6 nm breit. Perizyten sind an den peritubulären Rindenkapillaren nicht zu finden (LANGER, 1975).

4. Peritubuläre Kapillaren des Markes

Im Mark befinden sich sowohl porenhaltige als auch porenfreie Endothelien (LANGER, 1975; BULGER, 1979). Nach LANGER (1975) entsprechen letztere dem arteriellen, erstere dem venösen Schenkel. Nach BULGER et al. (1979) wird das

absteigende Gefäß von einem ungefensterten Endothel, einer BM und umgebenden Perizyten, und in den oberen Regionen von glatten Muskelzellen begleitet, das aufsteigende Gefäß nur von einem dünnen gefensterten Endothel und einer BM. Die Perizyten fehlen (BULGER et al., 1979).

Im äußeren Mark besitzt das absteigende Gefäß ein dickes kontinuierliches Endothel mit Pinozytosevesikel, die sich vom luminalen und vom basalen (zahlreicher in der letzten Lokalisation) Plasmalemm abschnüren (SCHWARTZ et al., 1976). Ihre Anzahl ist sehr unterschiedlich, (LANGER, 1975). Es sind keine Fenster zu finden. Die BM ist deutlich ausgeprägt. Häufig finden sich intramembranöse Partikel im Plasmalemm.

Nach LANGER (1975) befinden sich porenfreie Kapillaren außerhalb der Gefäßbündel, also peritubulär nur ganz selten. Das aufsteigende Gefäß zeigt ein dünnes vermindertes Endothel mit zahlreichen 50-80 nm großen Fenstern, die von einem 4 nm starken Diaphragma verschlossen werden (SCHWARTZ et al., 1976). Die kernhaltigen Endothelabschnitte sind unregelmäßig angeordnet und relativ breite porenfreie Endothelzonen unterbrechen in relativ kurzen Abständen die flachen gefensterten Partien. Hin und wieder sieht man zwei porenfreie Endothelien übereinander liegen (LANGER, 1975). Die endotheliale BM ist wie in der Rinde 30-37 nm breit, nicht selten auch breiter. Dann finden sich Aufzweigungen zum Interstitium und auch die tubulären BM verzweigen sich (LANGER, 1975). Wie schon in der Rinde können tubuläre und kapilläre BM stellenweise verschmolzen sein. Die Zellverbindungen bestehen in Zonulae occludentes mit normalerweise einer, hin und wieder zwei bis drei Membranverschmelzungen. Intramembranöse

Partikel sind selten (SCHWARTZ et al., 1976). Im inneren Mark konnten SCHWARTZ et al. (1976) ähnliche Typen finden, die jedoch nicht eindeutig als aufsteigend oder absteigend zugeordnet werden konnten. Morphologisch unterscheiden sich die Gefäße des inneren und äußeren Markes nur durch die Ausprägung ihrer Zellverbindungen. Im inneren Mark sind diese lockerer und "undichter" angelegt (SCHWARTZ et al., 1976).

D. Juxtaglomerulärer Apparat

Als Juxtaglomerulären Apparat (JGA) bezeichnet man die aus granulierten Wandzellen (epitheloide Zellen) vor allem im Vas afferens, mitunter auch im Vas efferens, den Laciszellen (extraglomeruläres Mesangium, Goormaghtighzellen, Netzzellen) und der Macula densa bestehende funktionelle Einheit (BARAJAS, 1970; BUCHER/KAISLING, 1973; SPANGLER, 1979; ROSIVALL/TAUGNER, 1986), die über das Renin-Angiotensin-Aldosteronsystem der Regulierung des Natrium- und Wasserhaushaltes dient (THURAU, 1973). LJUNGQUIST (1975), GORGAS (1978), CHRISTENSEN et al. (1979) und BULGER (1979) zählen die afferente und efferente Arteriole auch als Bestandteil des JGA.

1. Epitheloide Zellen

Die epitheloiden Zellen finden sich in der Media des Vas afferens und Vas efferens (BUCHER/KAISLING, 1973; GORGAS, 1978). Sie unterscheiden sich auf Grund ihrer Form und Größe, v.a. aber durch ihren Granulagehalt von den Zellen der übrigen Gefäßwand. Bei der Ratte (GORGAS, 1978) findet sich in jedem Glomerulum eine präglomeruläre Gruppe epitheloider Zellen, die gelegentlich auch im Stammgefäß der intraglomerulären Lobuli zu finden ist. In

der äußeren Cortex kommen epitheloide Zellen in der gesamten Arteriole, in kurzen Gefäßen bis zum Ursprung vor. In der juxtamedullären Rindenzone ist die Zahl der granulierten Zellen geringer. Nach GORGAS (1978) lassen sich alle Übergangsformen, sowohl von granulierten und nicht-granulierten Zellen, als auch von epitheloiden Zellen nachweisen. Vorkommen, Größe und Zahl der Granula sind schnittabhängig (GORGAS, 1978) bzw. abhängig vom Funktionszustand in dem sich die Zelle zum Zeitpunkt der Fixierung befand (PETER, 1976). Anhand der Verteilung und dem Gehalt an Myofilamenten, des endoplasmatischen Retikulums, sowie der Differenzierung und der Form der Zellfortsätze lassen sich typische glatte Muskelzellen von modifizierten glatten Muskelzellen, den epitheloiden Zellen unterscheiden (GORGAS, 1978). Mit ihren Prozessen haben die epitheloiden Zellen Kontakt zum Endothel, zu Fibrozyten der Adventitia, zur Bowman'schen Kapsel in der Hilusregion, zu den Laciszellen und an der Einmündungsstelle in das Glomerulum zum Mesangium (GORGAS, 1978). Die Zahl und Länge der Fortsätze nimmt zum Gefäßpol hin zu. Damit geht optisch eine scheinbare Mehrschichtigkeit der Gefäßwand einher. Es sind viele Kontaktzonen ausgebildet an denen die BM verschmelzen oder unterbrochen sind, wenn sich die Plasmamembranen bis auf einen Spalt von 10-15 nm nähern, (GORGAS, 1978). Vermehrt treten Tight und Gap junctions auf. Auch die Endothelzellen bilden mit den epitheloiden Zellen Kontaktzonen aus, nachdem sie ihre BM durchbrochen haben. Nach SPANGLER (1979) handelt es sich bei den epitheloiden Zellen der Hunde um eine einfache Lage morphologisch typischer glatter vaskulärer Muskelzellen. Sie besitzen viele verwobene Prozesse, die Kontaktstellen, überwiegend Maculae adhaerentes ausbilden. Die Zellen zeigen longitudinal ausgerichtete Filamente. Mitochondrien vom Cristaetyp mit Granula sind

spärlich im Zellkörper und den Prozessen verteilt. Sie sind klein und meist rund oder oval, gelegentlich länglich oder verzweigt. Das endoplasmatische Retikulum ist häufig erweitert. Diese Erweiterungen enthalten flockiges Material von mäßiger elektronenmikroskopischer Dichte. Weite Strecken des ER sind locker mit Ribosomen besetzt. Freie Ribosomen sind spärlich, polyribosomale Strukturen selten. Im Vergleich zu normalen glatten Muskelzellen sind weniger Oberflächenvesikel zu sehen. Gelegentlich zeigen einige Zellen einen gut ausgebildeten Golgiapparat, der immer in Kernnähe in Verbindung mit einem Zentriolenpaar liegt. Auch "coated vesicel" werden hier gesehen. Lysosomen werden mit einiger Regelmäßigkeit gefunden. Sie haben die Form von Myelinkörpern oder Lipofuscin. "Multivesicular bodies" und primäre Lysosomen tauchen nur vereinzelt auf.

Der überwiegende Teil der Kerne ist oval mit einer etwas unregelmäßigen Außenlinie. Die perinukleäre Komponente des ER ist erweitert. Heterochromatinkondensationen sind randständig, ein Nukleolus selten. Die Granula, umhüllt von einer einfachen, dichten Membran, besitzen einen homogenen Inhalt von einheitlicher Dichte. Der Durchmesser liegt zwischen 0,29 und 0,54 μm (SPANGLER, 1979), nach (GORGAS, 1978) bis zu 1,2 μm . Adrenerge Nervenfasern sind zu finden (BUCHER/KAISLING, 1973; GORGAS, 1978; SPANGLER, 1979; BUCHER/KAISLING, 1973). GORGAS (1978) findet neben spezifischen Sekretgranula unspezifische Lipofuscingranula, Glykogenpartikel und Stachelsaumbläschen. Zudem weist sie auf einen deutlich geringeren Anteil an Myofilamenten hin. Sie kommen konzentriert an der Zellperipherie und besonders in den Zellausläufern vor. Die Zahl und Verteilung scheint von der Granulamenge und der Differenzierung des rauen ER weitgehend abhängig zu sein. Die Myofilamente nehmen zum Gefäßpol hin ab. Cha-

rakteristisches Merkmal der epitheloiden Zelle der Ratte sind auch die Abnahme der Oberflächenvesikel und die auffallende Vermehrung der Plasmalemmeinfaltungen. Sie ragen häufig bis zum Perikaryon vor. Im Inneren der entstehenden Hohlräume beobachtet man feingranuliertes Material mittlerer Dichte, ähnlich der BM. PETER (1976) untersuchte die Sekretion der Granula. Dabei bemerkt er den unterschiedlichen Gehalt an Granula, abhängig vom Funktionszustand der Zellen. Der Hauptunterschied in der Exozytose der epitheloiden Zellen zu anderen sekretorisch aktiven Zellen ist: die Granula wandern nicht zur Plasmamembran, sondern die Membran bildet Invaginationen zu den Granula aus (vgl. oben). Die elektronenmikroskopische Dichte der Invaginationen ist sowohl der der Sekretgranula, als auch der der BM ähnlich. Mikrotubuli und Mikrofilamente befinden sich in der Nähe der Plasmamembran, sie könnten nach PETER (1976) an der Bildung der Invaginationen beteiligt sein.

2. Laciszellen

Die agranulären Zellen beim Menschen füllen den ganzen Spalt zwischen Macula densa, der afferenten und efferenten Arteriole und dem Mesangium. Die Laciszellen sind immer in direkten Kontakt mit all den anderen Strukturen. Sie setzen sich auch unverändert fort in das Mesangium. Der Distale Tubulus weitet sich etwas im Bereich der Macula densa. Direkter Kontakt zwischen Macula densa und Hilusarterie ist nicht immer vorhanden. Die Kontaktzone mit der afferenten Arteriole ist gewöhnlich größer als mit der efferenten Arteriole. Die Architektur des JGA des Menschen und der Ratte entsprechen sich (CHRISTENSEN et al., 1979)

Im Zwickel zwischen den glomerulären Arteriolen, der Bowman'schen Kapsel und dem anliegenden Distalen Tubulus

liegt die sog. Goormaghtigh'sche Zellgruppe, die säulenartige Anordnung aufweist und reich innerviert ist (GORGAS, 1978). Die Zellen sind Anteile der Gefäßwand, sowohl vom Vas afferens, als auch vom Vas efferens im Hilusbereich (GORGAS, 1978) und gehen ohne klare Abgrenzung in das Mesangium des Glomerulum über (BARAJAS, 1970; GORGAS, 1978). Es handelt sich um modifizierte Muskelzellen, die sich durch höchsten Verzweigungsgrad auszeichnen (GORGAS, 1978). Sie haben Kontakt zu allen Anteilen des JGA und dem Mesangium. Nach GORGAS (1978) bilden die Fortsätze der Laciszellen an der Glomerulumboberfläche, lateral der Gefäßachse eine kragenartige Manschette, die an der BM inseriert. Ausläufer der epitheloiden Zellen ohne Granula sind morphologisch nicht von Lacisfortsätzen zu unterscheiden. Durch die Lacisfortsätze wird ein dichtes labyrinthartiges Netzwerk gebildet, das von BM unterlagert wird (LJUNGQUIST, 1975; GORGAS, 1978). Sie fehlt nur in engen Kontaktzonen. An diesen sind v.a. Gap junctions ausgebildet. Sie bilden auch die Verbindung zum Endothel und in seltenen Fällen zu Fibroblasten und Epithelzellen der Kapsel (GORGAS, 1978). Die BM der Laciszellen setzt sich nach LJUNGQUIST (1975) in der BM der Bowman'schen Kapsel fort. Die Laciszellen besitzen einen sternförmig verzweigten Zellkörper, der zu seinen Prozessen tiefe, bis zum Kern reichende PlasmalemmEinstülpungen aufweist. Die Kerne sind länglich und von unregelmäßiger Oberfläche. Sie enthalten einen gut differenzierten Golgiapparat, ein hochentwickeltes lamellär und tubulär organisiertes ER, relativ kleine Mitochondrien und Glykogenpartikel. Vereinzelt kommen Oberflächenvesikel und kleine spezifische Sekretgranula vor, die letzteren bevorzugt in Golgiapparatnähe. Myofilamente beobachtet man an der Zellperipherie, konzentriert in den Zellfortsätzen (GORGAS, 1978; BUCHER/KAISLING, 1973; LJUNGQUIST, 1975).

Fibroblastenausläufer dringen in das Netz der Laciszellen und sind nur in Serienschnitten von diesen zu unterscheiden, da die Fibrozyten eine unvollständige BM besitzen und direkten Kontakt zu freien Axonen haben (GORGAS, 1978). Dort, wo Laciszellen und epitheloide Zellen direkt an das Endothel grenzen, ist dieses gefenstert. Die Poren besitzen einen Durchmesser von 50-230 nm und typische Endothelschlitzte von 35 nm, die von den Laciszellen und den epitheloiden Zellen nur durch eine dünne Lage von Basalmembranmaterial getrennt werden (ROSIVALL/TAUGNER, 1986).

3. Macula densa

Die Ultrastruktur der Macula densa des Hundes unterscheidet sich markant von der anderer Zellen des Distalen Tubulus (SPANGLER, 1979). Die Macula densa Zellen überragen das umgebende Epithel um mehr als das Doppelte (FISCHER, 1985). Basal liegen nach SPANGLER (1979) beim Hund flache unregelmäßige Basalmembranfaltten. Mitochondrien sind spärlich und in der basalen Portion der Zelle randständig orientiert. Die apikale Zellportion zeigt zahlreiche Mikrovilli. Der Kern ist generell in zentraler Position und häufig blaß gefärbt. Spalten zwischen dem basalen Zellteil und der BM wurden sehr selten gesehen. Die Beschreibung der Macula densa des Hundes von BULGER (1979) und FISCHER (1985) gleichen sich weitgehend. Das Zytoplasma enthält längliche Mitochondrien, Lipidtröpfchen, dichte Granula, apikale Vesikel und Golgieinheiten. Kurze kräftige Mikrovilli erheben sich lumenwärts und werden von einer einzelnen Zilie überragt (FISCHER, 1985). Die meisten Golgifelder liegen apikal oder lateral des Zellkerns. Die lateralen Interzellularspalten sind häufig erweitert (BULGER, 1979). Die basalen Falten sind unregelmäßig und erreichen z.T. die Zellmitte. BULGER (1979) be-

schreibt Fortsätze der Macula densa, die Filamentbündel enthalten und bis zu den Mesangiumzellen reichen. Eine Beschreibung der Rattenniere bringt GORGAS (1979). Sie findet keine wesentlichen Unterschiede in der Ultrastruktur. SCHILLER/TAUGNER (1979) fanden bei Untersuchungen der Tight junctions der Macula densa (Hund, Ratte, Tupia) nur unbedeutende Unterschiede in der Zahl der Stränge und der apiko-basalen Tiefe im Vergleich zur Pars recta und convoluta des Distalen Tubulus. Es sind weniger Fasern, die länger ausgebildet sind. Beim Hund beträgt die Faserlänge 142 ± 5 nm. Diese Ergebnisse unterstützen nicht die Forderung einer höheren Permeabilität der Macula densa. Gap junctions wurden nie im Distalen Tubulus gefunden. Über Serienschnitte wurde der Aufbau des JGA rekonstruiert (BARAJAS, 1970).

Dabei wird nur ein JGA beschrieben, bei dem kein Kontakt zwischen granulierten Zellen und Distalem Tubulus gefunden wurde. In den übrigen variiert der Kontakt in Ausdehnung und Lokalisation. Zwei Typen werden beschrieben:

- simple Aneinanderlagerung der BM; dieser wird als reversibel interpretiert.
- einen anatomisch komplexer erscheinenden: die BM der beteiligten Segmente verschmelzen und formen ein Netzwerk. Diese Kontaktform hält der Autor für irreversibel.

E. Feinstruktur der Lymphgefäße

Die Lymphgefäße bestehen aus einem dünnen, porenfreien Endothel, das nur lückenhaft von einer BM unterlagert wird (KRIZ/DIETERICH 1970; GORGAS, 1978; KAISLING/KRIZ, 1979; ALBERTINE/O'MORCHOE, 1980; O'MORCHOE/ALBERTINE, 1980). Elektronenmikroskopisch findet man am selben Lymphgefäß sehr unterschiedlich aufgebaute Wandpartien. So sieht man am interlobulären Lymphgefäß Abschnitte, in denen, wie bei den Hilusgefäßen, eine Membrana accessoria aus Bindegewebe und vereinzelt glatten Muskelzellen ausgebildet ist und an anderer Stelle nur ein Endothel, meist ohne subendothelialer BM, direkt an optisch leere Räume des perivasalen Gewebes grenzend (KRIZ/DIETERICH, 1970). An den Lymphgefäßen können zwei Klappenarten unterschieden werden, deren struktureller Aufbau prinzipiell gleich ist. Die Segmentklappe, die das Gefäß in Segmente teilt und halbmondförmig ins Lumen ragt und die Einmündungsklappe, die nach dem Ventilprinzip funktioniert. Das Gerüst der Klappen wird durch kollagenes Bindegewebe und einzelne Fibrozyten gebildet. Beidseitig wird dieses Gerüst vom Endothel überzogen, meist ohne BM. Als Besonderheit besitzen diese Endothelzellen sehr viele intrazytoplasmatische Filamente mit einem mittlerem Durchmesser von 9 nm, insbesondere am Klappenrand (KRIZ/DIETERICH, 1970). Der Feinbau der Lymphkapillaren ist nach KRIZ/DIETERICH (1970) einfach. Ihr Endothel ist ca. 0,1-0,2 µm breit und geschlossen. Im Bereich der Nuklei ist es verdickt. Es sind wenige kleine Mitochondrien, vereinzelt granulierte Ergastoplasmaschläuche, freie Ribosomen und konstant ein Golgiapparat in Kernnähe. Auffallend sind die Mikropinozytosevesikel mit einem Durchmesser von rund 90 nm. Intrazytoplasmatische Filamente kommen in geringeren Mengen als in den Klappenendothel-

zellen vor. Statt einer durchgehenden BM liegen häufig unter dem Endothel Bündel kollagener Filamente mit einem mittleren Durchmesser von nur 14 nm. Der subendotheliale Raum kann auch optisch leer und strukturlos sein.

Die Endothelzellen bilden entweder einfache End-zu-End-Aneinanderlagerungen oder häufig auch Überlappungen aus. Interdigitationen wurden von KRIZ/DIETERICH (1970) selten gesehen. An den Kontaktstellen werden Zonulae occludentes und Zonulae adhaerentes beobachtet (KRIZ/DIETERICH, 1970; GORGAS, 1978). Weiterhin berichtet GORGAS (1978) von der Rattenniere, daß an den Überlappungsstellen zwischen den Kontaktstreifen der Zellen größere Lücken auftreten. Diese Lücken könnten mit den subendothelialen Tunnelräumen an den Verbindungsstellen der Zellen größerer Lymphgefäße identisch sein, die KRIZ/DIETERICH (1970) beobachteten und als partielle Aufweitung der Überlappung deuteten. GORGAS (1978) macht in ihrer Arbeit auf die histotopographische Beziehung zwischen epitheloiden Muskelzellen der Gefäßwand, Fibrozytenausläufern und Endothel aufmerksam. Fibroblastenausläufer, die an der BM von epitheloiden Zellen bzw. Epithelzellen des Distalen Tubulus inserieren, ziehen direkt an das Endothel der Lymphkapillaren. An den Anheftungsstellen strahlen stets Bündel von Filamenten und Mikrofibrillen ("anchoring filaments") in basalmembran-ähnliches Material ein. Die Fortsätze bilden um die Lymphkapillare eine spärlich differenzierte Hülle und bedecken nur partiell Lücken im Endothel. Die genannten Lücken kommen in diesen Endabschnitten in großer Zahl und Ausdehnung vor. Sie stellen die Verbindung zwischen umgebenden, von verzweigten Fibroblastenausläufern begrenzten, polygonalen Kammern bzw. Lymphspalten und der Gefäßwand bzw. dem Distalen Tubulus her.

III. MATERIAL UND METHODE

Als Untersuchungsmaterial dienten die Nieren von 21 Beagle-Hunden beiderlei Geschlechts. Die Hunde wogen zwischen acht und vierzehn Kilogramm. Die Nieren hatten eine Länge zwischen 50 und 65 mm und eine Breite zwischen 30 und 45 mm. Das durchschnittliche Gewicht betrug etwa 40 bis 50 Gramm.

Die Hunde dienten im Rahmen eines Transplantationsprogramms als Organspender. Eine Niere wurde als Spenderniere auf ein anderes Tier übertragen, das nichttransplantierte Organ in situ fixiert, exzerpiert und für die vorliegenden morphologischen Untersuchungen weiterbehandelt. Die Entnahme der Nieren erfolgte unter einer Inhalationsnarkose mit Halothan. Als Prämedikation diente Atropin (0,5 mg/Tier), als Narkoseeinleitung Combelen/Ketanest. Durchschnittlich wurden den Hunden während der Operation 100 ml Urographin und 100 - 200 ml Natriumchlorid infundiert. Das Abdomen wurde durch die Linea alba eröffnet. Die Perfusion der Niere erfolgte über die A. renalis. Zwei unterschiedliche Lösungen dienten der Perfusionsfixation in situ:

1. Glutaraldehyd 1% in 0,15 M Na-Cacodylat-Puffer, pH 7,3 und 600 mosmol
2. Glutaraldehyd 1% in 0,15 M Na-Cacodylat-Puffer, pH 7,3 und 340 mosmol

Wenn im Text nicht anders erwähnt wurden die mit Lösung 2 erzielten Ergebnisse beschrieben.

Über einen Zeitraum von fünf Minuten erfolgte die Perfusion der Organe mit 200 ml Lösung (1 bzw. 2). Dabei betrug die Temperatur des Mediums 37°C und der Perfusionsdruck 150 mm Hg.

Präparation für die Transmissionselektronenmikroskopie

Die Nieren wurden in dünne Scheiben geschnitten und diese ca. 24 Stunden in 6% Glutaraldehydlösung in 0,15 M Na-Cacodylat-Puffer bei 4°-8°C aufbewahrt, anschließend die Scheiben in Waschlösung (0,15 M Na-Cacodylat-Puffer mit Saccharose-Zusatz, pH 7,3 und 340 mosmol) nachbehandelt. Es folgte die Entnahme von jeweils sechs bis zehn Blöcken in vertikaler und ebensovieler in horizontaler Richtung von der Rinde bis zur Papille. Die Kantenlänge betrug ca. 1 mm. In 1% Osmiumtetroxyd in 0,15 M Na-Cacodylat-Puffer wurden die Proben für drei Stunden bei 4°C kontrastiert, dann, zur Entfernung des überschüssigen Osmiumtetroxyds dreimal je zehn Minuten mit einem 0,15 M Na-Cacodylat-Puffer angereichert mit Saccharose, gewaschen.

Die Entwässerung der Proben erfolgte in einer aufsteigenden Azetonreihe (30%, 50%, 70%, 90%, 100%). Eingebettet wurden sie in Araldit (Azeton:Araldit, 3+1, 1+1, 1+2) und die in reinem Araldit eingebetteten Proben 24 Stunden bei 35°C und 48 Stunden bei 45°C polymerisiert.

Von den Blöcken wurden Ultradünnschnitte angefertigt und diese elektronisch gesteuert mit 2% Uranylacetat und Bleicitrat nach Reynolds nachkontrastiert.

Zur Untersuchung wurde ein Siemens-Transmissions-Elektronenmikroskop (ELMISKOP 101) verwandt und die Ergebnisse photographisch dokumentiert.

Präparation für die Rasterelektronenmikroskopie

Die Nieren waren nach der Spülung mit Ringerlösung und Fixierung mit 2,5% Glutaraldehydlösung (0,1 M Phosphat-Puffer, pH 7,4) in Scheiben geschnitten worden.

Um eine Zerstörung des Gewebes durch Eiskristalle beim Gefrieren zu verhindern, erhielten die Proben Gefrierschutz durch Glycerin. Sie lagen jeweils 24 Stunden in 10%, 20% und 30% Glycerin. Dann wurden sie in flüssigem Stickstoff durchgefroren und sofort gebrochen. Es wurden Quer-, Schräg- und Längsbruchkanten hergestellt, die Teilstücke in 30%, 50%, 70%, 90% und 100% Azeton entwässert. Die Proben verblieben jeweils 24 Stunden in den einzelnen Azetonverdünnungsstufen.

An die Entwässerungsreihe schloß sich die Critical-Point-Trocknung und die Besputterung mit Gold über drei Minuten an.

Die Proben wurden mit einem Raster-Elektronenmikroskop JSM-840A mit integriertem Bildspeicher untersucht und die Ergebnisse photographisch dokumentiert.

IV. ERGEBNISSE

A. Ultrastruktur des Corpusculum renis

1. Bowman'sche Kapsel

Rasterelektronenmikroskopie

Die Bowman'sche Kapsel wird von einem flachen Plattenepithel (Abb.1, EZ), dessen Zellen polygonale Gestalt besitzen, ausgekleidet. Die Oberfläche ist, abgesehen von Mikrovilli (Abb.1, Mv) glatt. Sie sind über alle Zellen unregelmäßig verteilt und häufen sich an den Zellgrenzen. Die Kerne der Epithelzellen sind bevorzugt oval, liegen zentral und wölben die Zellmitte leicht vor. Runde Kerne treten vereinzelt am Gefäß- und Harnpol auf.

Auf den meisten Zellen ragt perinukleär eine Zilie (Abb.1, Z) in das Kapsellumen. Ihr freies Ende kann kolbenartig verdickt sein.

Auf der Oberfläche liegen runde Partikel, die nur lose mit dem Plasmalemm in Verbindung stehen (Abb.1, ->).

Das Epithel wird durch eine kräftig ausgebildete Basalmembran (Abb.1, BM), bestehend aus netzartig angeordneten Fibrillen, unterlagert. Einige dieser Fibrillen verlassen die Basalmembran und laufen in die benachbarten Tubuli, wodurch z.T. ein großflächiger Kontakt entsteht.

Am Gefäßpol geht das parietale Blatt in das viszerale Blatt, bestehend aus den Podozyten, am Harnpol, in die büstensaumtragenden Zellen des Proximalen Tubulus, jeweils ohne Verbindungszellen, über.

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Epithelzelle enthält einen länglichen, abgeflachten Kern (Abb.2, N), dessen Heterochromatin randständig und in kleinen Kondensationen in der Kernmatrix verteilt ist. Der Nukleolus liegt zentral und ist, wie die Kernmembran,

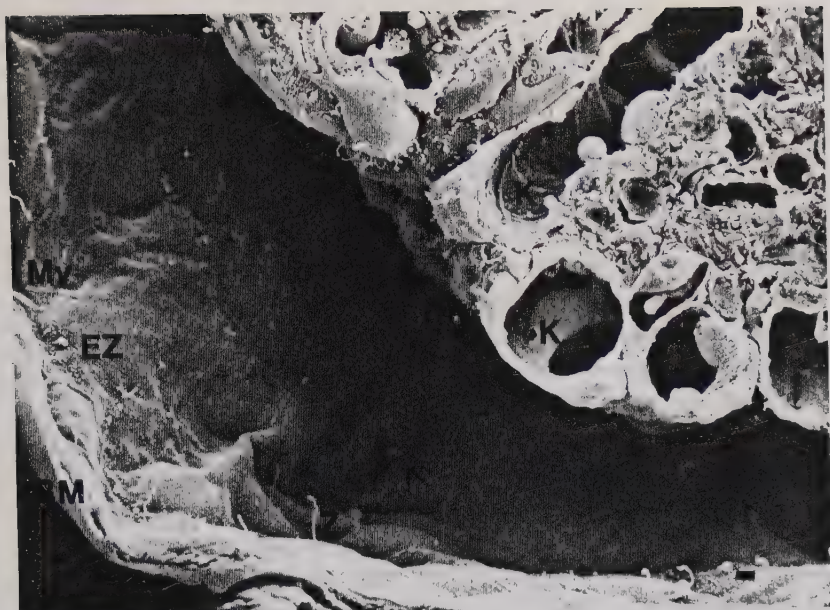


Abb.1 Anschnitt einer Bowman'schen Kapsel

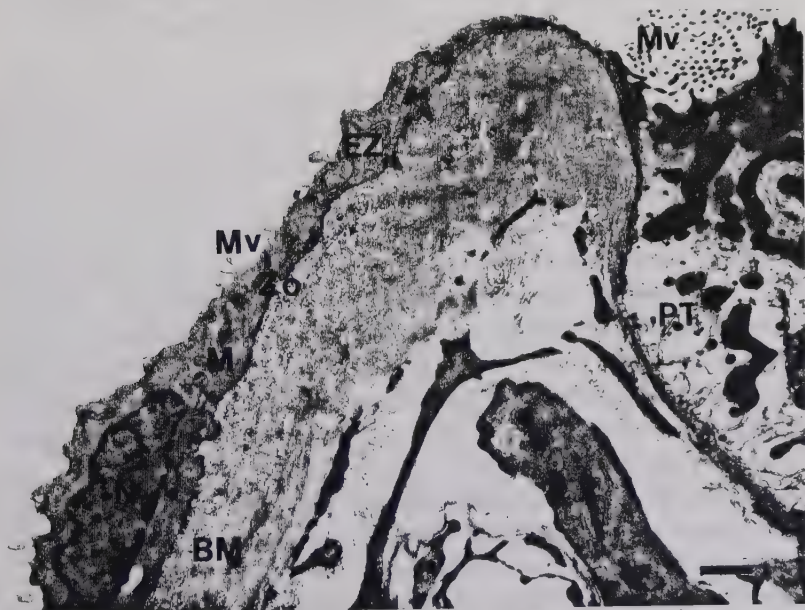


Abb.2 Epithelzelle mit Übergang in den Proximalen Tubulus

deutlich ausgebildet. In der Nähe des Kernes häufen sich zahlreiche Polyribosomen, deren Konzentration zur Zellperipherie abnimmt.

Weiterhin enthält die Epithelzelle rauhes endoplasmatisches Retikulum, unterschiedlich große Mitochondrien (Abb.2, M) und Vesikel. Ein Golgifeld und multivesikuläre Körper sind nur selten im Schnittbild getroffen. Die Organellen liegen ungerichtet im Zytoplasma.

Auf der Zelloberfläche bildet die Epithelzelle Mikrovilli (Abb.2, Mv) aus, die zu den lateralen Zellgrenzen dichter stehen.

Die Zellränder schieben sich schräg übereinander und bilden Zonulae occludentes (Abb.2, Zo) aus.

Das Zytoplasma ist, verglichen mit dem der Podozyten, elektronenoptisch hell. Es wird von zahlreichen Mikrofilamentbündeln durchzogen, die sich in der Zellperipherie verdichten.

Die Basalmembran (Abb.2, BM), die die Epithelzellen unterlagert, weist eine Dicke zwischen 300 und 600 nm auf.

2. Glomerulum

a. Endothelzellen

Rasterelektronenmikroskopie

Die Kapillarschlingen des Glomerulum werden von einem sehr flachen, gefensterten Endothel ausgekleidet. Der Kern liegt basal und wölbt sich leicht in das Lumen vor. Er ist abgeflacht und länglich und wird von einem schmalen Zytoplasmasaum umrandet. In den kernnahen Bereichen häufen sich die Organellen.

Vom Kern gehen Zytoplasmaleisten (Abb.6, Le) häufig strahlenförmig aus. Sie können sich mit Leisten anderer Zellen verbinden. Nur wenige laufen entlang der Zellgrenzen.

Der Übergang der Zytoplasmaleiste zum angrenzenden gefen-

sterten Endothel ist unterschiedlich. Bei einigen ist dieser allmählich und fließend, v.a. bei flachen Leisten (Abb.6, Le), bei anderen plötzlich, v.a. bei Leisten, die wie "Rohre" (Abb.9, Le) auf dem Endothel liegen.

Zwischen den Leisten spannen sich Porenfelder (Abb.6 und Abb. 9) aus. Die Poren (Abb.4, F) sind rund bis polygonal und von unterschiedlichem Durchmesser (50-120 nm). Vereinzelt treten Doppelporen auf. Der Abstand zwischen den Poren ist gleichmässig 60-70 nm breit. Der überwiegende Teil der Fenster erscheint offen, nur 5-10% sind durch eine feine Membran verschlossen. Am Grund einiger Poren liegt unregelmässig gekörntes Material.

Die Porenfelder werden von porenfreien Zytoplasmastreifen durchzogen, die von ebenfalls porenfreien kuppelartigen Zytoplasmaportionen (Abb.4, Ku) ausgehen. Die "Kuppeln" erheben sich deutlich über das Niveau des gefensterten Endothels. Pro Porenfeld finden sich zwei bis sechs "Zytoplasmakuppeln". Unregelmässig über die Zelle verstreut liegen knollige Projektionen (Abb.9, Mp).

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Endothelzelle der Glomerulumkapillare wird von einer Einheitsmembran ("unit membrane") begrenzt und auf der luminalen Seite von einer schmalen Glykokalix überzogen. Basal sitzt die Zelle auf einer dreischichtigen Basalmembran (Abb.3 und 10, BM) auf. Das Endothel ist ca. 100-170 nm hoch. Ausnahmen bilden die Kernportion, die Zytoplasmaverdickungen und ein Großteil der Zellverbindungsstellen (Abb.10, Zo).

Der Kern liegt basal und wird von einem schmalen Zytoplasmastreifen eingesäumt. Er ist überwiegend längsoval und wölbt sich nur wenig in das Lumen vor. Selten ist er rund. Das Chromatin ist locker strukturiert, abgesehen von randständigen Kondensationen des Heterochromatins, Kernporen sind selten.

Apikal und basal des Kerns befinden sich i.d.R. nur Vesi-

kel und einzelne Ergastoplasmaschläuche. Die übrigen Organellen sind seitlich angeordnet. Es finden sich stets einige längliche Mitochondrien vom Cristaetyp, rauhes endoplasmatisches Retikulum, einige Polyribosomen, sehr vereinzelt Lysosomen und häufig Vesikel. Nur selten ist ein Golgifeld angeschnitten.

Das Zytoplasma fällt in Kernnähe allmählich oder plötzlich auf das Niveau des gefensterten Endothels ab. Die Poren des Endothels (Abb.3, 4 und 10, F) haben einen Durchmesser zwischen 30-100 nm und einen Abstand von 60-100 nm. Häufig sind sie durch ein, zuweilen auch durch zwei Diaphragmen verschlossen. Das porenhaltige Endothel wird von Zytoplasmaabschnitten unterbrochen, die die zwei- bis sechsfache Höhe erreichen. Sie treten in Abständen von 600-1000 nm auf und sind unterschiedlich lang.

Im Gegensatz zu den gefensterten Abschnitten, die außer wenigen Vesikeln keine Organellen enthalten, liegen in den verbreiterten Teilen (Abb.11) Mitochondrien, rauhes endoplasmatisches Retikulum und Vesikel. Die Übergänge zu den breiten Abschnitten können steil oder flach ansteigend sein. Unregelmäßig treten Projektionen auf der lumenwärtigen Seite auf.

An Kapillarstrecken, an die Mesangiumzellen grenzen, fallen vermehrt endotheliale Projektionen in Form von langen, einfachen Fortsätzen und Abschnürungen auf. Das Verhalten der Basalmembran bei mesangialem Kontakt wird in Kapitel 2.d. beschrieben.

Die Zellgrenzen zweier Endothelzellen überlappen sich und erreichen so bis zu 500 nm lange Kontaktstrecken, an denen mehrere Verbindungskomplexe ausgebildet sind. Die Zahl variiert zwischen einem und fünf Komplexen, wobei lumina! immer Zonulae occludentes (Abb.10, Zo) entwickelt sind. Vereinzelt treten Gap junctions und Zonulae adherentes auf.

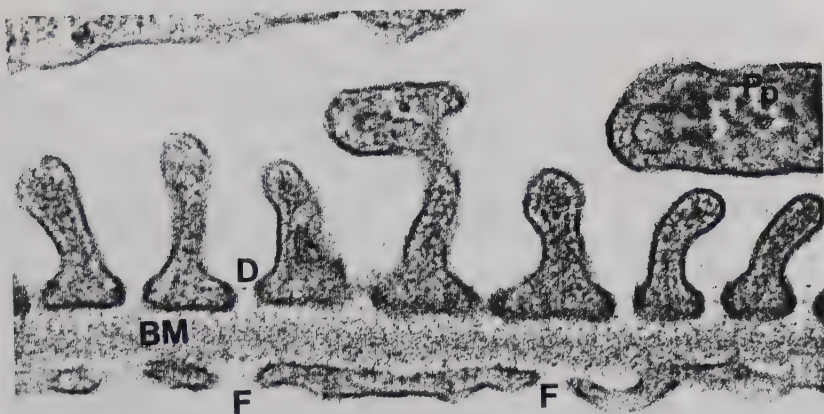


Abb.3 Blut-Harn-Schranke mit Podozyten

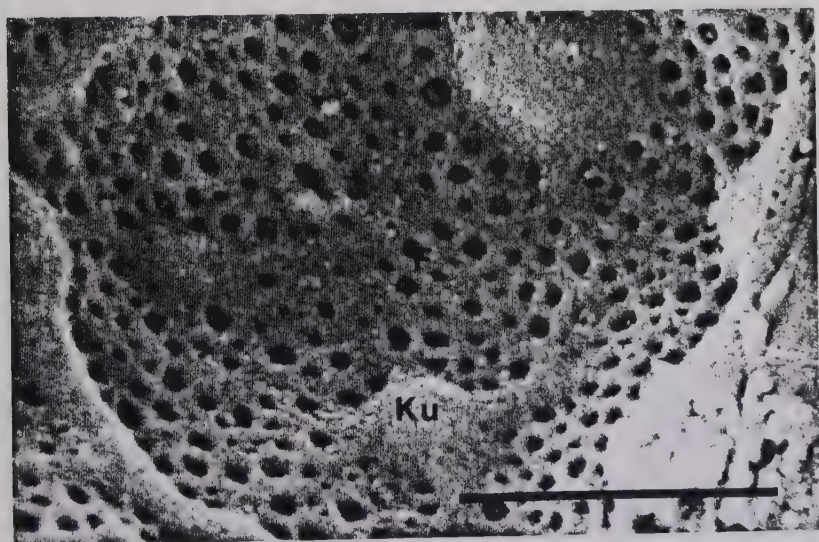


Abb.4 Aufsicht auf das Endothel einer Glomerularkapillare

b. Podozyten

Rasterelektronenmikroskopie

Der Zellkörper des Podozyten (Pz) (Abb.5 und 7, Pz, N) sitzt in Spalten zwischen den Kapillarschlingen. Er hat eine runde bis ovale Form und wölbt sich kissenartig vor. Pro Zelle gehen zwei bis sechs Primärfortsätze (Abb.5 und 7, Pf I) ab. Diese zweigen Sekundär- und diese wiederum häufig Tertiärfortsätze (Abb.5, 7, Pf II, III) ab. Einige Primärfortsätze ziehen zur nächsten Kapillarschlinge, um sich zu verzweigen, andere ziehen über mehrere Kapillaren unverzweigt hinweg, um erst weit vom zugehörigen Zellkörper entfernt Sekundärfortsätze abzugeben.

Die sekundären und tertiären Fortsätze ordnen sich parallel zueinander und quer zum Gefäß, das sie umgreifen (s. Abb.5).

Dabei wechseln sich die Fortsätze verschiedener Primärfortsätze ab. Die sekundären und tertiären Fortsätze geben Pedikel etwa in einem 90°-Winkel ab (Abb.5 und 7).

Ein geringer Teil dieser Füßchen teilt sich einmal dichotom. Sekundäre und tertiäre Fortsätze können am Ende in drei gleichwertigen Pedikeln (Abb.5, ->) auslaufen. Die Kapillarschlingen sind flächendeckend von Podozytenausläufern bedeckt.

Sowohl die sekundären und tertiären, als auch die Pedikel folgen dem "Reißverschlußprinzip", indem sich die Füßchen verschiedener Sekundär- und Tertiärfortsätze und Sekundär- und Tertiärfortsätze verschiedener Primärfortsätze abwechseln. Zwischen den Pedikeln bleibt nur ein sehr schmaler Spalt.

Die Oberfläche der Podozyten ist überwiegend glatt, abgesehen von gruppenweise auftretenden tentakelartigen Mikrovilli (Abb.1 und 5, Mv). Sie sitzen auf dem perinukleären Zellkörper. Vorwiegend auf den großen Fortsätzen sind unregelmäßig geformte teils runde, teils kolbenartige Projektionen ausgebildet.



Abb.5 Aufsicht auf Kapillarschlingen mit Podozyten



Abb.6 Glomeruläres Sieb mit Podozyten

Vereinzelt treten zwischen den Pedikeln schmale Zytoplasmabrücken (Abb.7, ->) auf. Sie verbinden etwa in der Mitte zwei benachbarte Füßchen.

Einige wenige Pedikel gliedern sich nicht in die sonst strenge Ordnung ein, sondern überspringen ihren Ursprungsfortsatz (Abb.7, ->), queren andere Pedikel oder ziehen zum nächstliegenden sekundären Fortsatz (Abb.7, ^). In einigen Glomerula fallen Pedikelfelder auf, deren Formation nicht ausgeprägt ist. Die gewohnte Anordnung ist am Rand noch, in der Mitte nicht mehr zu erkennen (Abb.7, links unten).

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Podozyten bilden das viszerale Blatt der Bowman'schen Kapsel und schließen sich ohne Zwischenzellen am Gefäßpol an die Epithelzellen der Kapsel an.

Sie sitzen mit ihren Pedikeln auf der BM der Kapillarschlingen und der Mesangiumzellen und an der Muskelschicht des Vas afferens und Vas efferens.

Der Podozyt besitzt einen im Schnitt häufig sternförmigen Körper, der von einer "unit membrane" begrenzt wird. Diesem liegt außen eine Glykokalix an.

Der locker strukturierte Kern (Abb.8, N) liegt etwa in der Mitte der Zelle und zeigt eine runde bis längliche Form mit unterschiedlich stark ausgeprägten Einziehungen. Das Heterochromatin ist v.a. randständig und in unterschiedlich großen Kondensationen über den Kern verteilt. Es sind zahlreiche Kernporen (Abb.8, ->) nachweisbar.

Gehäuft in Kernnähe treten Gruppen von ovalen bis länglichen Mitochondrien vom Cristaetyp (Abb.8, M) auf, z.T. mit intramitochondrialen Granula. Geringer ist die Zahl der Mitochondrien in den Fortsätzen. Das Golgifeld (Abb.8 G) ist stark ausgeprägt und weist eine hohe Vesikelbildung auf. Das endoplasmatische Retikulum (ER) zeigt sich überwiegend in seiner rauhen Form und ist v.a. in Kernnähe zu Zisternen erweitert. Über das gesamte Zytoplasma

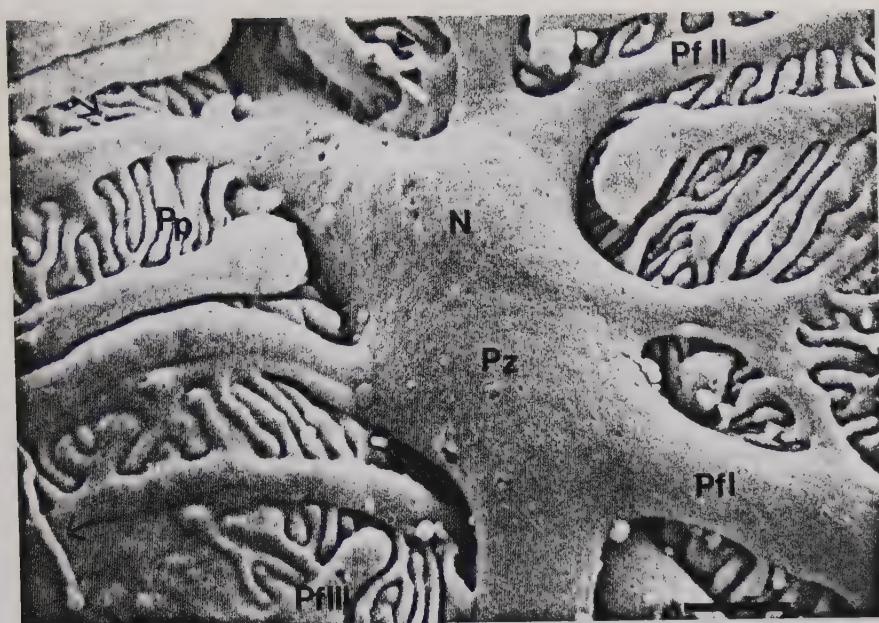


Abb.7 Aufsicht auf einen Podozyten

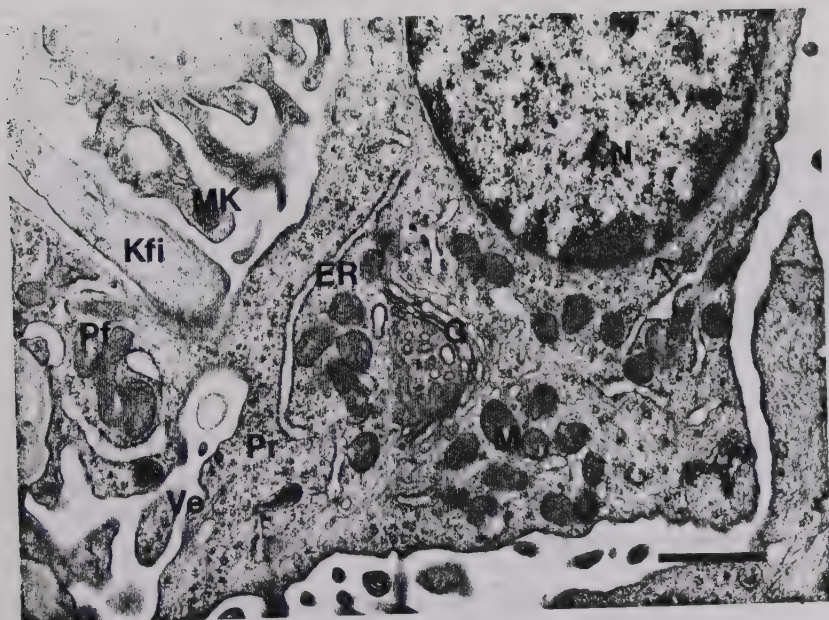


Abb.8 Podozyt mit Fortsätzen

des Zellkörpers sind auffällig dicht freie Polyribosomen (Pr) verteilt, besonders in Kernnähe und am Abgang der Fortsätze. Nahezu in jedem Podozyten treten multivesikuläre Körper (MK) und Lysosomen auf, letztere mehr im Zellkörper, erstere vorwiegend in den großen Fortsätzen. Vesikel (Ve) liegen an der Peripherie und sind nicht selten zum Bowman'schen Spaltraum offen.

Mikrotubuli finden sich entlang der Achse der Prozesse (I-III Ordnung). Mikrofilamente sind v.a. am Zellrand, in den Fortsätzen und den Pedikeln zu finden. Die Füßchen gehen im rechten Winkel von den sekundären und tertiären Fortsätzen ab. Sie haben eine stempelartig verbreiterte Basis, mit der sie auf der Lamina rara externa der kapillären Basalmembran inserieren. Durch das Abwechseln der Pedikel einer Zelle mit denen anderer Zellen entsteht im Schnitt häufig eine arkadenartige Konstellation.

Zwischen den Füßchen bleibt ein schmaler Spalt von etwa 40-60 nm, der von einer sehr feinen Membran (Abb.3 und 10, ->) mit einem zentralen Knopf überspannt wird.

c. Blut-Harn-Schranke

Rasterelektronenmikroskopie

Die Blut-Harn-Schranke wird gebildet vom gefensterten Endothel, der dreischichtigen Basalmembran und den Pedikeln der Podozyten (vgl. Abb.9).

Die Basalmembran setzt sich aus mehreren Schichten aus netzartig angeordneten Fibrillen zusammen, die miteinander in Verbindung stehen.

Transmissionselektronenmikroskopie

Die glomeruläre Basalmembran (Abb.10, BM) ist ca. 120-180 nm breit und damit dicker als weite Abschnitte des gefensterten Endothels. Sie setzt sich aus drei Schichten zusammen. Die mittlere Lamina densa ist die breiteste mit

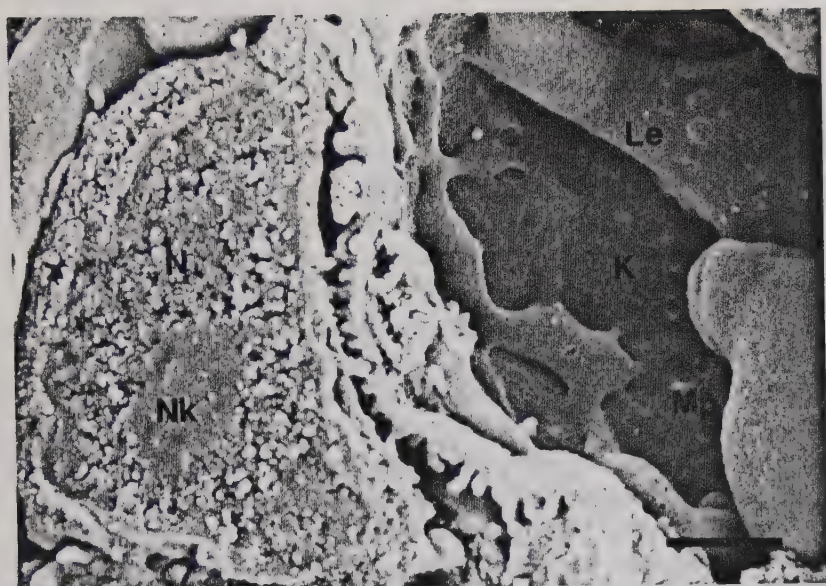


Abb. 9 Blut-Harn-Schranke

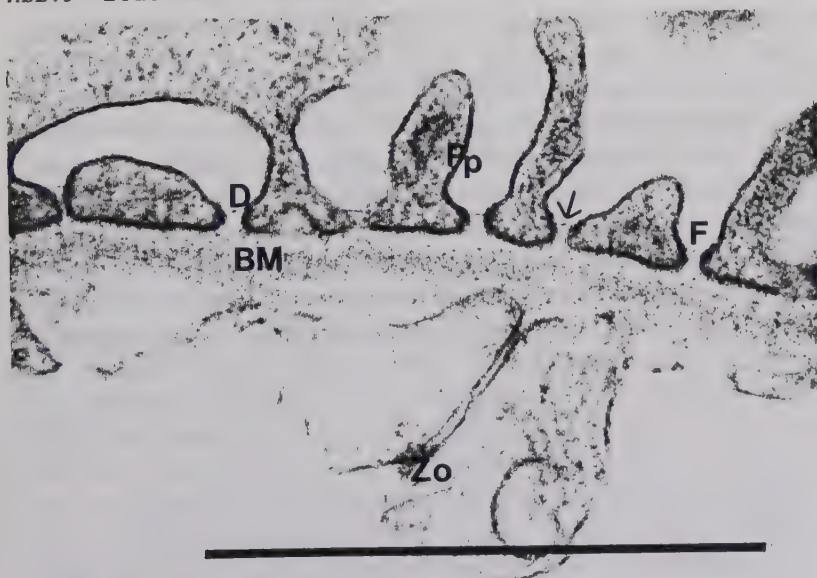


Abb. 10 Blut-Harn-Schranke mit Zonulae occludentes

ca. 90 nm und stellt sich dunkler und dichter dar. Auf der endothelialen Seite schließt sich die Lamina rara interna an, mit einer Breite von ca. 40 nm. Auf der subendothelialen Lamina rara externa, die etwa 30 nm mißt, inserieren die Podozytenfüßchen.

Die Füßchen lassen einen etwa 40-60 nm breiten Spalt zwischen sich frei, der ca. 50 nm über der Basalmembran von einer schmalen Membran, die nur so breit ist, wie die äußerste Schicht der "unit membrane" und auch deren Dichte besitzt, überspannt wird. Zentral sitzt ein Knopf. Der Raum zwischen der Basalmembran und dem Häutchen ist entweder optisch leer oder mit einem Material ausgefüllt, das der Dichte der Lamina rara externa entspricht (Abb.3 und 10).

Das gefensterte Endothel sitzt der Lamina rara interna auf. Der Spalt zwischen Fenster und Basalmembran ist optisch leer. Ein Teil der Poren ist durch Diaphragmen (Abb.3 und 10, D) verschlossen, in Einzelfällen von zwei hintereinanderliegenden.

Eine bestimmte Zuordnung von Pedikeln, Poren und verbreiterten Endothelabschnitten (s.o) ist nicht zu erkennen. Im allgemeinen werden alle Kapillarendothelien von Podozytenfüßchen besetzt. Ausgenommen sind nur die Stellen, an die direkt Mesangiumzellen grenzen oder zwei Endothelien so eng aneinander liegen, daß nur ein Fortsatz ohne Pedikel dazwischen tritt. Die Basalmembran kann an diesen Stellen verbreitert sein (400 nm). An den breiten Strecken der BM sinkt die Frequenz der Fenster. Die beschriebenen Kontakte zweier Kapillaren kommen nur im Zentrum des Glomerulum vor.

d. Mesangium

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Mesangiumzellen liegen im zentralen Teil des Glomerulum zwischen den Kapillarschlingen. Es sind stark verzweigte Zellen, die über ihre Fortsätze mit dem Endothel, den Podozyten und Prozessen der eigenen Zelle und anderen Mesangiumzellen Kontakte ausbilden.

Der Kern (Abb.11 und 12, N) liegt zentral, ist unregelmäßig lang geformt und besitzt unterschiedlich stark ausgeprägte Einziehungen. Auffällig sind die häufig auftretenden Kernporen. Das Heterochromatin bildet einen schmalen Saum am Rand und kleine Kondensationen, die sich gleichmäßig verteilen. Im umliegenden Zytoplasma liegen kleine rundliche Mitochondrien, das Golgifeld (G), sehr viele Polyribosomen (Pr), in einigen Zellen ein Zentriolenpaar (Abb.12, Ze), rauhes endoplasmatisches Retikulum (ER), multivesikuläre Körperchen (MK), Lysosomen (L), Vesikel (Ve) mit unterschiedlichem Inhalt und an der Zellperipherie Mikrotubuli.

In den Fortsätzen sind die Mitochondrien länglich und größer als in Kernnähe. Mikrofilamentöse Strukturen fallen am Zellrand und in den Fortsätzen auf. Zwischen den Prozessen breitet sich die mesangiale Matrix aus, die die gleiche elektronenmikroskopische Dichte wie die Lamina densa der BM aufweist. Grenzen mesangiale Strukturen aneinander, so werden ausgedehnte Gap junctions gebildet. Zwischen den Podozyten und den Mesangiumzellen liegt eine BM (Abb.11, 12, BM) mit dem gleichen strukturellen Aufbau wie zwischen Endothel und Podozyten. Die Basalmembranen gehen ineinander über. Zwischen Mesangium und Kapillare ist keine BM ausgebildet. An das Endothel grenzen entweder die Matrix, in diesen Fällen ist das Endothel überwiegend flach und gefenstert, oder Mesangiumfortsätze, wobei der endothelial-mesangiale Kontakt unterschiedlich

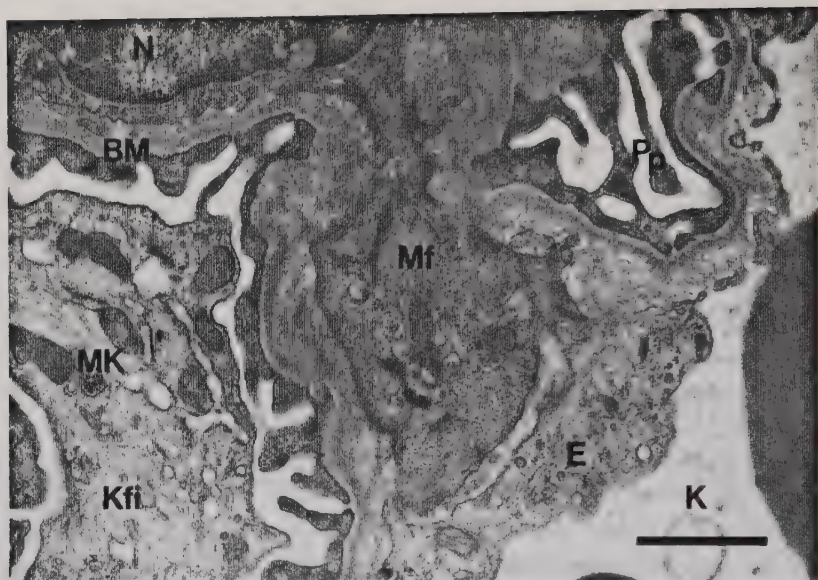


Abb.11 Mesangiumzelle an einer Glomerulumkapillare; das Endothel ist an der Kontaktstelle verbreitert

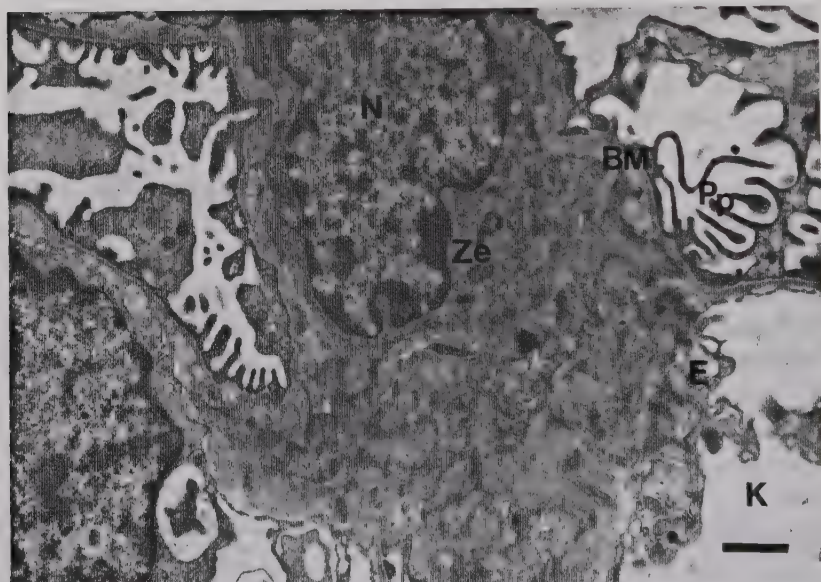


Abb.12 Mesangiumzelle mit Podozyten

ausgeprägt ist.

1. Verbreiterung des Endothels bis zu einer Höhe von 1000 nm. Die Organellen, Mitochondrien, Vesikel (830-100 nm), rauhes endoplasmatisches Retikulum, Polyribosomen und Mikrotubuli nehmen zu. Die luminale Oberfläche des Endothels ist durch offene Vesikel ungleichmäßig (Abb.11).
2. Die mesangialen Prozesse wölben sich in das Lumen vor, ohne das gefensterte Endothel zu durchbrechen.
3. Mesangiale Fortsätze durchbrechen das Endothel. Diese Form ist selten.
4. Grenzt ein Mesangiumfortsatz über längere Strecken an das Endothel, so fällt eine starke Faltung des gefensterten Abschnittes auf.

B. Ultrastruktur der Blutgefäße

1. Die Gefäßwand am Proximalen Tubulus

Rasterelektronenmikroskopie

Die Kapillaren liegen zwischen den Tubuli und passen sich dem vorhandenen Raum dergestalt an, daß sie einen möglichst ausgedehnten und engen Kontakt zur Tubuluswand erreichen. Sie schieben sich bis in schmale Spalten zwischen die Tubuli. Dadurch sind die Kontakte Tubulus zu Kapillare ausgedehnter als von Tubulus zu Tubulus (Abb.13 und 14).

Die Kerne der Endothelzellen liegen entweder in dem Winkel, der zwischen zwei benachbarten Tubuli entsteht oder an der Kontaktfläche zum Tubulus. Diese Position nimmt er seltener ein und nur in Kapillaren, die ein weites Lumen besitzen.

Die Kapillaren und Tubuli werden durch Kollagenfibrillen verbunden. Der Kontakt zwischen Endothel und Proximalem

Tubulus ist gleichmäßig eng (Abb.13 und 14). Zwischen Kapillarendothel und Proximalem Tubulus liegen die endotheliale und tubuläre BM.

Die tubuläre BM besteht aus Fibrillen, die netzartig miteinander verstrickt sind und in Lagen übereinander liegen. Die BM folgt den basalen Faltungen des Proximalen Tubulus (Abb.15), wodurch bei der Aufsicht auf die BM der Eindruck von Wellen entsteht. Kollagenfibrillen verbinden die Basalmembranen.

Die luminale Oberfläche des Endothels ist leicht gefaltet. Diese wird einerseits durch die sich vorwölbenden Zellkerne, andererseits durch kleine Quer- und Längsfalten des Zytoplasmas hervorgerufen (Abb.16). Die Endothelzellen haben eine polygonale Gestalt.

Der Kern liegt zentral und wölbt sich unterschiedlich stark ins Lumen vor.

Es fallen verschieden dicke und lange Projektionen (Abb.16 und 17, Mp) auf, die v.a. an den Zellgrenzen ausgeprägt sind. Dort stellen sie sich als teils knollige, teils lange Mikrovilli dar. Die Verteilung der Projektionen auf der Oberfläche der Kernportion ist unterschiedlich, so kommen vereinzelte halbkugelförmige Projektionen mit wenigen Mikrovilli vor. Auf anderen Zellen verteilen sich die kurzen Mikrovilli gleichmäßig dicht.

Auf einigen Zellen ist eine Zilie (Abb.16 und 17, Z) ausgebildet, die eine Länge von 3,5 μm erreichen kann. Das Ende ist z.T. kolbenartig aufgetrieben.

Die Dichte der Projektionen scheint mit der Häufigkeit von Poren korreliert zu sein. So sind Poren (Abb.17, F) auf glatten Flächen nur vereinzelt, auf Zellen mit vielen Mikrovilli dichter verstreut. Häufig grenzen Poren an die Basis von Mikrovilli. Die Poren sind rund bis polygonal und unterschiedlich groß.



Abb.13 Epitheliale Schranke im Bereich des Proximalen Tubulus und der Kapillare

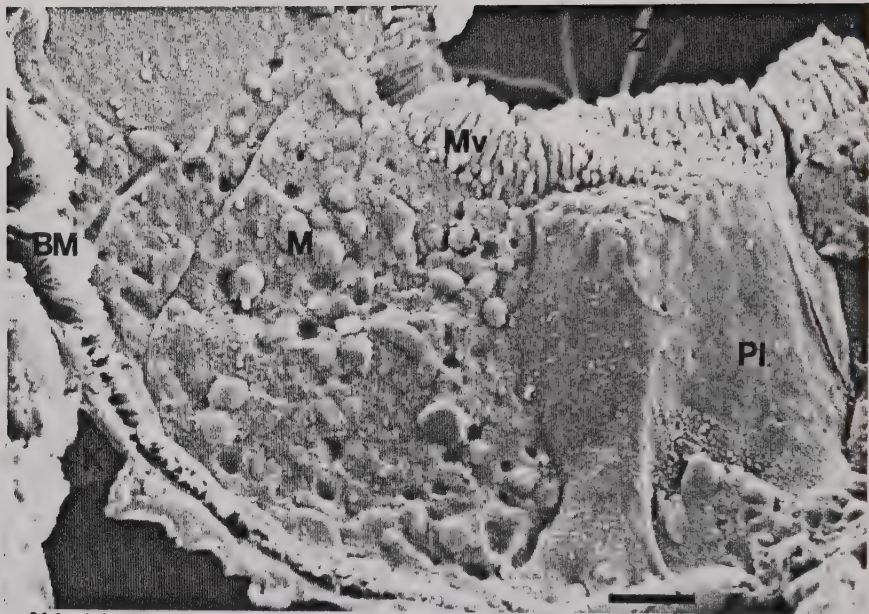


Abb.14 Proximale Tubuluszelle mit Kapillare

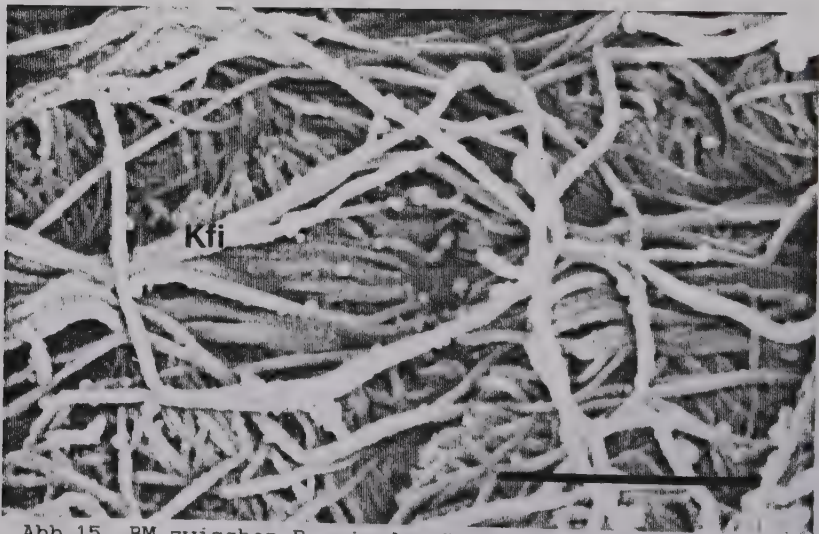


Abb.15 BM zwischen Proximalen Tubulus und Kapillare
Die BM legt sich der basalen Faltung an.

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Kapillaren setzen sich aus einem flachen, gefenster-ten Endothel und einer BM zusammen (Abb.18 und 19).

Der unterschiedlich geformte Kern liegt häufig im Zwickel zweier Tubuli, in weitleumigen Kapillaren auch direkt an der Kontaktstrecke zum Tubulus. Die Form scheint abhängig vom Platzangebot und reicht von dreieckig über rund bis zu langgestreckt und flach.

Das Heterochromatin ist unregelmäßig kondensiert und randständig orientiert. Einzelne Kernporen treten auf. Der Nukleolus liegt exzentrisch. Der Kern wird von Zytoplasma umgeben, das apikal und basal nur einen ca. 300 nm breiten Saum bildet, an den Seiten aber stärker ausgeprägt ist und einen Großteil der Organellen beinhaltet.

Es finden sich längliche Mitochondrien vom Cristaetyp, rauhes endoplasmatisches Retikulum, freie Ribosomen, seltener Golgiapparat, Lysosomen und multivesikuläre Körperchen. Regelmäßig treten Vesikel im Zytoplasma der Endothelzelle auf. Die Größe ist unterschiedlich und variiert zwischen 50 und 450 nm (Abb.21, Ve). Die Vesikel können an der basalen und apikalen Oberfläche offen sein, wodurch die luminale Oberfläche, v.a. in der Kernregion eine ungleichmäßige Außenlinie erhält.

An einigen Zellen erheben sich von der perinukleären Oberfläche solitäre Zilien.

Der Übergang auf das Niveau des gefensterten Endothels (ca. 60 nm hoch) kann plötzlich oder allmählich erfolgen.

Die Poren (Abb.18/19, F) haben eine Weite von ca. 60 nm und einen Abstand, der zwischen 60-200 nm variiert.

Die gefensterten Strecken besitzen außer Vesikeln keine Organellen. In unregelmäßigen Abständen werden sie von Endothelabschnitten unterbrochen, die z.T. die sechsfache Höhe erreichen. Ihr Zytoplasma enthält die gleichen Organellen wie die Kernportion.

Das Endothel wird von einer BM unterlagert, deren Breite etwa 60-100 nm beträgt. Sie liegt der etwa zwei bis drei

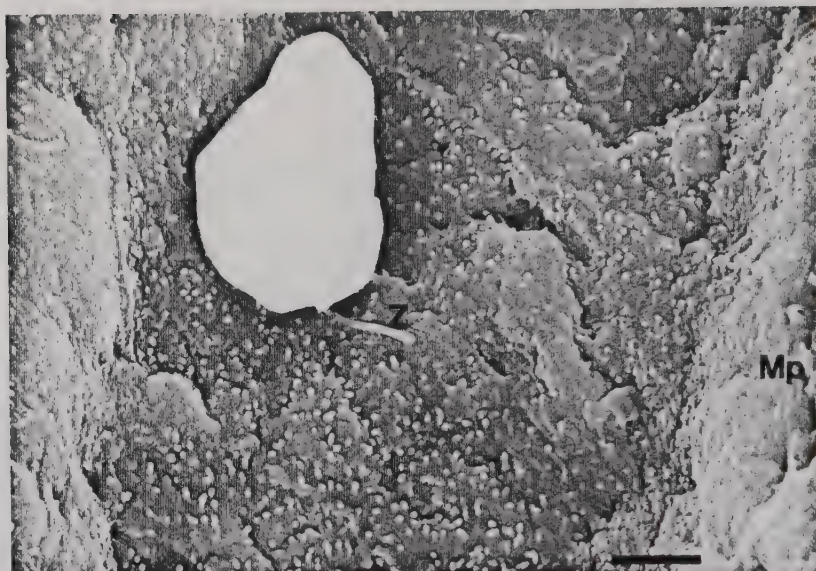


Abb.16 Aufsicht auf das Endothel einer Kapillare am Proximalen Tubulus



Abb.17 Kapillarwand mit Zilie im Bereich des Proximalen Tubulus



Abb.18 Gefenstertes Endothel am Proximalen Tubulus

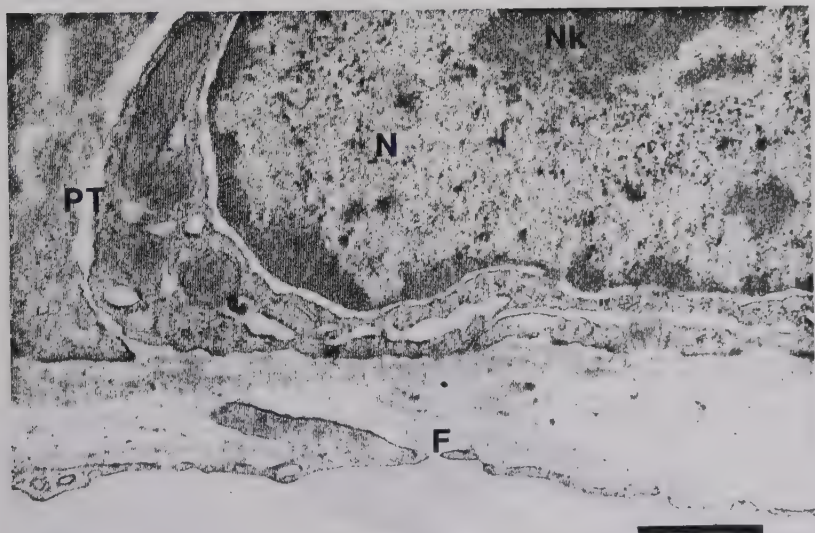


Abb.19 Endothelabschnitt am Proximalen Tubulus

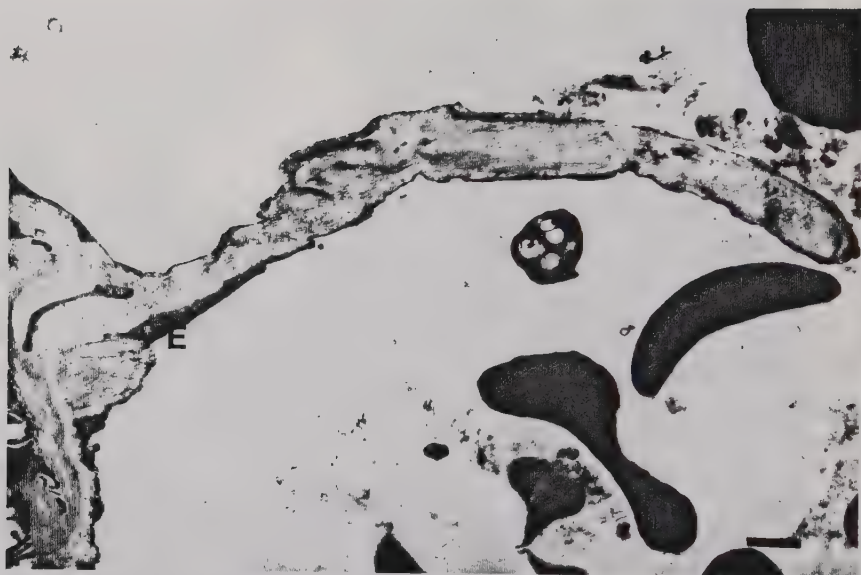


Abb.20 Klappe in einem Gefäß am Proximalen Tubulus

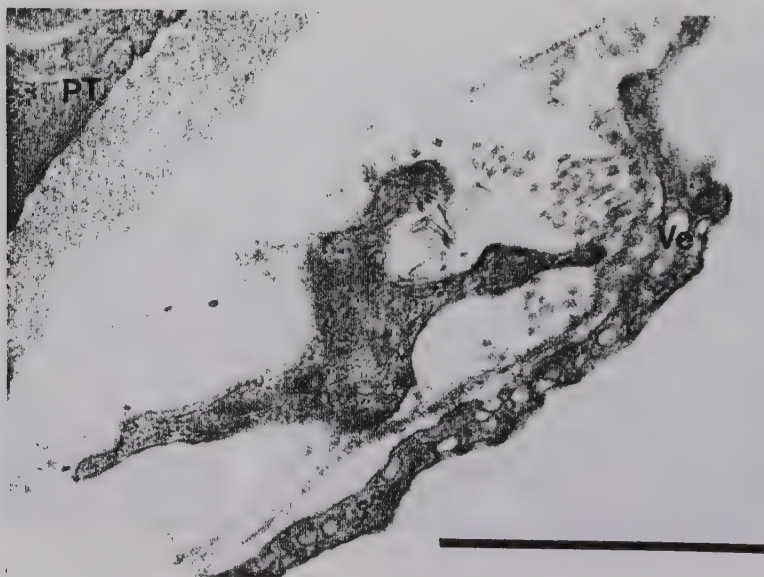


Abb.21 Zytopenmsis im Endothel am Proximalen Tubulus

mal breiteren tubulären BM meist eng an. Hin und wieder schieben sich Fortsätze von Fibrozyten zwischen die Basalmembranen. Ist der interstitielle Spalt erweitert (präparationsbedingt), so werden Fibrillen (Mf) in Quer- und Längsverlauf sichtbar.

Die Zellgrenzen sind übereinander geschoben und bilden Zonulae occludentes aus.

Im Bereich der breiten Zytoplasmazonen können Ausläufer von anderen Endothelzellen oder Fibrozyten sich unter das Endothel schieben.

In vereinzelten Fällen durchbrechen Endothelfortsätze die BM und grenzen direkt an die tubuläre BM.

Es lassen sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Segmenten des Proximalen Tubulus feststellen.

In Nachbarschaft zu einer Arteriole, die von zwei Lagen glatter Muskulatur umgeben wird, liegt ein Gefäß, dessen Wand nur aus einem gefenstertem Endothel (Höhe ca. 60 nm) und einer BM besteht. Sein Durchmesser beträgt etwa 23–24 μm . In diesem Gefäß ist eine Klappe (Abb.20) ausgebildet, die eine Länge von etwa 23 μm aufweist. Die Klappe wird von einem gefenstertem Endothel umgeben, das zur Spitze hin an Dicke zunimmt und ungefenstert wird.

Die Dicke des Endothels beträgt 60–180 nm, die Porenweite etwa 40 nm. Sie werden von einem Diaphragma überspannt. Streckenweise liegt das Endothel doppelt.

Das Innere der Klappe ist mit Kollagenfibrillen aufgefüllt. Sie verlaufen in Längsrichtung und biegen am freien Klappenende um.

Die Klappenbasis wird durch quer verlaufende Fasern verstärkt.

Die BM weicht vom Ursprung der Klappe ab sie liegt dem Endothel nur außerhalb der Klappenbasis an.

2. Die Gefäßwand am dünnen Teil der Henle'schen Schleife

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Kapillaren, die an die Henle'sche Schleife grenzen, setzen sich aus einem flachen Endothel und einer BM zusammen. Die Gefäße können von Fibrozyten begleitet werden.

Der Kern ist flach und liegt häufig im Winkel zweier Tubuli. Das Hetero- und Euchromatin ist gleichmäßig verteilt, Kernporen sind spärlich ausgeprägt. Perinukleär im elektronenoptisch hellen Zytoplasma liegen Mitochondrien, Polyribosomen, Vesikel und die rauhe Form des endoplasmatischen Retikulums. Golgifelder finden sich selten in der Schnittebene. .

Die Höhe des perinukleären Zytoplasmas fällt innerhalb einer kurzen Strecke auf das Niveau der flachen Endothelstrecken (Höhe 50 nm) ab.

Diese sind z.T. mit Poren (Abb.22, 23 b/c, F) durchsetzt, deren Durchmesser im Durchschnitt 50 nm beträgt. Die Abstände zwischen den Poren variieren. Die Poren werden von einem Diaphragma verschlossen.

Massive Zytoplasmaverdickungen, wie sie im Proximalen Tubulusabschnitt zu finden sind, treten in den dünnen Teilen der Henle'schen Schleife nur sporadisch auf.

Fensterfreie Endothelstrecken erreichen etwa eine Höhe von 200 - 400 nm, selten bis zu 800 nm. Sie können Mitochondrien, rauhes ER, Polyribosomen und Vesikel enthalten.

Auffallend an den Kapillaren ist ihre ausgeprägte Vesikelbildung, deren Durchmesser 50 nm bis 400 nm betragen. Sie sind apikal, zentral und basal im Zytoplasma gelegen. Die apikale Position ist die häufigste (Abb.23 a-c, Ve). Oft ist eine Pore mit Diaphragma über dem Vesikel ausgebildet.

Als weiteres Kennzeichen der Kapillaren sind Endothelabschnitte zu nennen, die sich von der BM abheben und in



Abb. 22 Dünne Henle'schen Schleife mit Kapillare.

das Lumen ragen. Dieses Endothel unterscheidet sich im Aufbau nicht von dem anliegenden. Der entstehende Hohlraum ist mit unterschiedlich gekörntem Material, das die Dichte von Serum aufweist, gefüllt. Vereinzelt treten keulenartige Projektionen auf. Auf einigen Zellen ist jeweils eine Zilie nachweisbar.

Die lateralen Zellgrenzen lagern sich aneinander, wenn sie in den breiten Endothelstrecken bzw. übereinander, wenn sie im flachen Abschnitt liegen. Es sind Zonulae occludentes ausgebildet.

Das Endothel wird von einer ca. 30 nm breiten BM (Abb.22-23 c, BM) unterlagert. Sie kann an den Stellen, an denen große Vesikel im Endothel auftreten, unterbrochen sein.

Der interstitielle Spalt ist zwischen 50 nm und 500 nm breit und mit Kollagenfibrillen und -fasern gefüllt. Zwischen Kapillare und Henle'sche Schleife schieben sich Fibrozyten und deren Ausläufer (Abb.23a-c, Fz).

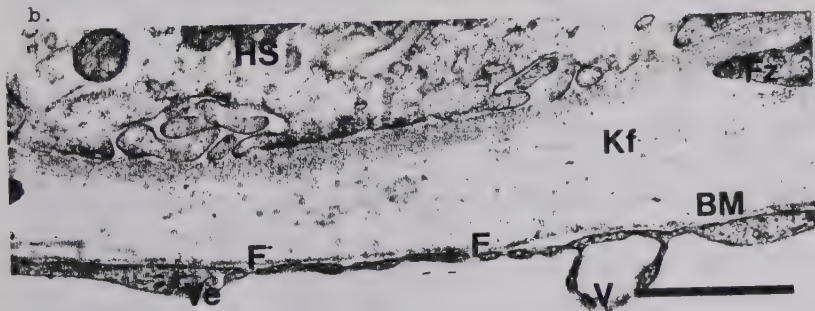
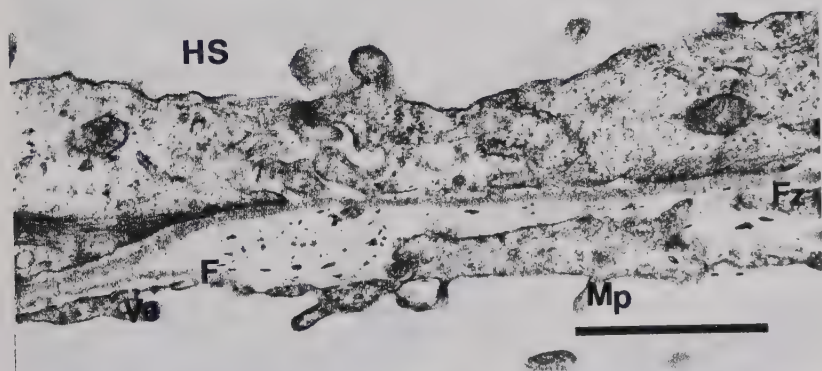
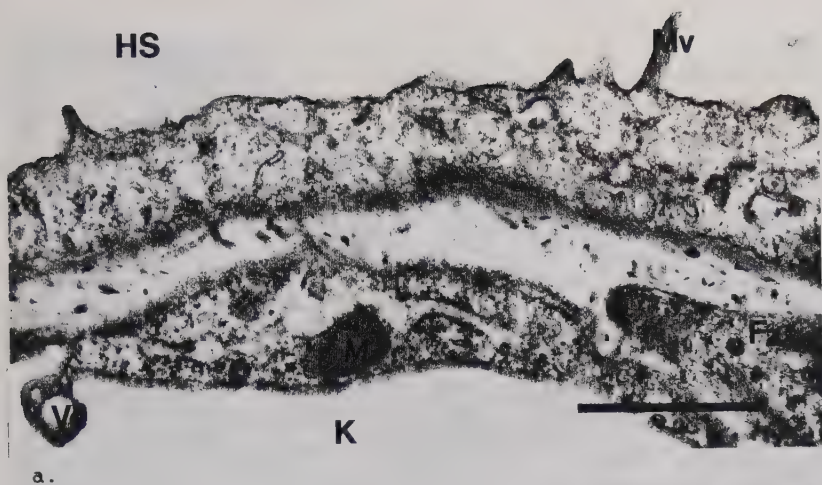


Abb. 23a-c Endothelabschnitte am dünnen Teil der dünnen Henle'schen Schleife

3. Die Gefäßwand am Distalen Tubulus

a. Die Gefäßwand an dem dicken Teil der Henle'schen Schleife (Pars recta)

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Endothel der Kapillare ist flach und wird nur vereinzelt von verdicktem Zytoplasma unterbrochen (Abb.24). Der längsovale Kern liegt apikal und weist eine dichte Heterochromatinverteilung auf. Kernporen sind selten, Organellen v.a. perinukleär angeordnet. Im flachen Zytoplasma finden sich nur Vesikel und sporadisch Ergastoplasmaschläuche und kleine Mitochondrien.

Die zytopematischen Vesikel verteilen sich über die gesamte Zelle und können sowohl basal als auch apikal offen sein. In vielen Fällen läßt sich ein feinkörniger Inhalt nachweisen.

Das Endothel kann gefenstert sein. Die Dichte der Poren ist unterschiedlich. Sie stellen sich überwiegend rund dar (Durchmesser 60-70 nm) und werden durch eine feine Membran, in deren Mitte eine runde Verdichtung auffällt, verschlossen (Abb.25, F, ->).

Die lumenwärtige Oberfläche zeigt nur sehr spärlich unregelmäßige Projektionen. Zwischen den aneinandergelagerten Zellgrenzen sind Zonulae occludentes ausgebildet.

Basal legt sich eine 40 nm breite BM an, die an einigen Stellen von Endothelfortsätzen durchbrochen wird. Die Fortsätze treten in direkten Kontakt mit der 160 nm breiten BM der dicken aufsteigenden Henle'schen Schleife. Der interstitielle Spalt variiert zwischen 60 nm und 180 nm. Er wird von Kollagenfibrillen und Fibrozytenausläufern durchzogen.

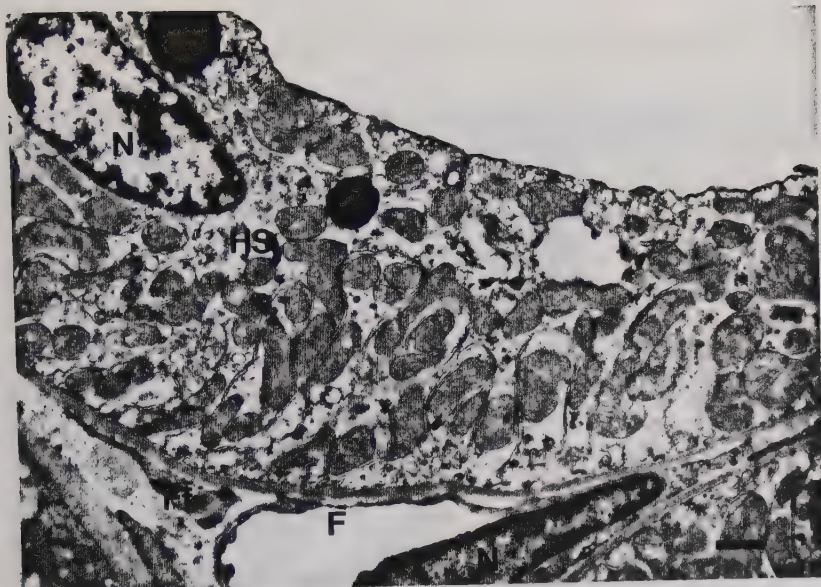


Abb. 24 Kapillare am dicken Teil der Henle'schen Schleife

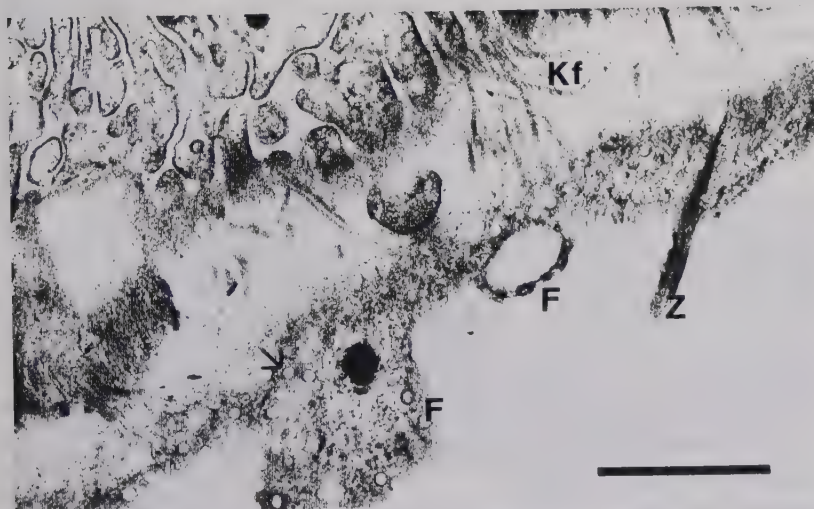


Abb. 25 Schrägschnitt mit Aufsicht auf die Endothelporen mit zentraler Verdichtung und Zilie am dicken Teil der Henle'schen Schleife

b. Die Gefäßwand am Distalen Konvolut (Pars convoluta)

Rasterelektronenmikroskopie

Das Endothel der Kapillaren, die direkt an den Distalen Tubulus grenzen, kennzeichnet eine deutlich strukturierte Oberfläche. Sie ist in Falten, Kämme und Mikroprojektionen differenziert. Die Oberflächenstrukturen zeigen einen ungerichteten Verlauf.

Die Mikroprojektionen haben eine fingerförmige Gestalt von unterschiedlicher Länge. Die freien Enden können verdickt sein. Auffallend sind unterschiedlich große, polygonale Öffnungen, die unregelmäßig, z.T. gruppenweise über das Endothel verstreut liegen. Sie stehen verschiedentlich durch schmale Zytoplasmabrücken in engem Kontakt.

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Kapillarendothel wird durch den Wechsel von gefensterten zu ungefensterten Abschnitten gekennzeichnet (Abb.26).

Der Kern (N) zeigt eine unregelmäßig ovale Form mit unterschiedlich stark ausgeprägten Einziehungen. Kernporen und Nukleolus sind ausgebildet.

Das Heterochromatin ist in z.T. sehr großen und dichten Kondensationen organisiert.

Der Kern kann sowohl im Winkel zweier Tubuli als auch auf der Kontaktstrecke zum Tubulus lokalisiert sein. Er wölbt sich deutlich in das Lumen vor. Das perinukleäre Zytoplasma ist unterschiedlich stark ausgeprägt und schließt Mitochondrien (M), rauhes ER (ER), Polyribosomen (Pr) und seltener ein Golgifeld und Vesikel (Ve) ein. Diese liegen in Kernnähe gehäuft basal und erreichen einen Durchmesser zwischen 70 nm und 250 nm.

Das perinukleäre Zytoplasma fällt auf das Niveau des flachen Endothels steil ab. Die Kapillaren am Distalen Tubu-



Abb.26 Endothelzelle am Distalen Konvolut

lus kennzeichnet ein über weite Strecken flaches Endothel (ca. 50 nm hoch), das nur stellenweise durch Poren (Durchmesser 35-40 nm) unterbrochen wird oder sich abschnittsweise verdickt (bis zu 400 nm Höhe).

Die Poren treten nur an wenigen Stellen gehäuft auf, sie werden von einem Diaphragma überspannt.

Die breiteren Zytoplasmabereiche beinhalten Organellen, die flachen Bereiche nur Vesikel unterschiedlicher Größe, die bevorzugt apikal orientiert sind. Auf der Oberfläche sind fingerförmige Projektionen entwickelt, die eine Länge von 400 nm erreichen können.

Das Zytoplasma wölbt die Oberfläche z.T. unregelmäßig zapfenförmig vor.

Die lateralen Zellgrenzen schieben sich in den flachen Bereichen übereinander, an den breiten stoßen sie aneinander und bilden dort Zonulae occludentes (Abb.26, Zo).

Das basale Plasmalemm liegt einer ca. 40 nm breiten BM an und kann durch zytoplasmatische Vesikel eingezogen sein. Der interstitielle Spalt ist ca. 130 nm bis 240 nm breit und wird von Kollagenfibrillen in verschiedenen Richtungen durchzogen. Fibrozytenausläufer schieben sich an einigen Kapillaren in den interstitiellen Spalt.

Die Dicke der tubulären BM beträgt etwa 60 nm bis 100 nm.

4. Die Gefäßwand am Sammelrohrsystem

a. Die Gefäßwand am Verbindungsstück

Transmissionselektronenmikroskopie

Der Kern des flachen, nur wenig gefensterten Endothels liegt basal und ist durch große Heterochromatinverdickungen gekennzeichnet (Abb.27).

Das dichte Zytoplasma schließt Mitochondrien, Vesikel und rauhes ER ein. Der überwiegende Teil der Vesikel besitzt einen Durchmesser von 50 nm.

Die zytopenemischen Bläschen öffnen sich v.a. an der luminalen Oberfläche. Vereinzelt treten Poren mit Diaphragma auf. Ihre Weite beträgt etwa 50 nm.

Das Endothel weist nur geringe Schwankungen seiner Höhe auf (250-350 nm).

An den lateralen Zellgrenzen sind Zonulae occludentes ausgebildet. Basal liegt eine 30 nm breite BM an. Es können sich optisch dichte, flache Zellausläufer ohne Organellen zwischen Endothel und BM schieben. Der interstitielle Spalt wird von Kollagenfibrillen in verschiedener Verlaufsrichtung durchzogen. Es schließt sich die BM des Verbindungsstückes an (150 nm).

b. Die Gefäßwand am kortikalen Sammelrohr

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Endothel der Kapillaren am kortikalen Sammelrohr zeichnet sich aus durch seine unregelmäßige Höhe und Oberfläche. Es sind Zytoplasmaabschnitte ausgebildet, die eine Höhe von 500 nm erreichen und Einziehungen der Oberfläche aufweisen. Sie wechseln sich ab mit kurzen gefensterten Strecken. Die Porenweite variiert zwischen 30-60

nm (Abb.28, F). Diaphragmen verschließen die Fenster. Auffallend sind Zytoplasmaverbreiterungen, die große Vesikel enthalten, die z.T. nur durch schmale Zytoplasmastreifen voneinander getrennt sind.

Der unregelmäßig geformte Kern zeigt randständig orientiertes Heterochromatin und einen exzentrisch gelegenen Nukleolus. Einige Kernporen sind ausgebildet.

Das perinukleäre Zytoplasma ist schmal, elektronenoptisch dicht und beinhaltet nur wenige Organellen, wie Mitochondrien, rauhes ER, kleine, runde Vesikel, Polyribosomen und einzelne multivesikuläre Körper.

Organellen verteilen sich auch auf das übrige Zytoplasma, wobei in einigen dicken Endothelabschnitten Mikrofilamente ausgebildet sind.

Die Oberfläche wird durch zytopenemische Vesikel, fingerförmige Projektionen (250 nm lang, 60 nm breit), große Vesikel und Endothelabschnürungen unregelmäßig gestaltet (Abb.28).

Die Zellgrenzen sind durch mehrere Komplexe verbunden. Luminal findet sich immer eine Zonula occludens. Zusätzlich kommen Zonulae adhaerentes vor.

Der basalen Endothelfläche liegt eine unvollständige BM an, die stellenweise von Endothelfortsätzen durchbrochen wird. Diese grenzen direkt an die BM des Sammelrohres (120 nm Breite). Im interstitiellen Spalt (ca. 70 nm) sind Kollagenfibrillen in wechselnder Richtung und einzelne Zellausläufer angeordnet.

c. Die Gefäßwand am medullären Sammelrohr

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Kapillarendothel am medullären Sammelrohr (Abb.29) ist dem des kortikalen Teils sehr ähnlich.

Deutliche Unterschiede bestehen nur in der Ausprägung und Häufigkeit der Vesikel und der Weite des Interzellular-

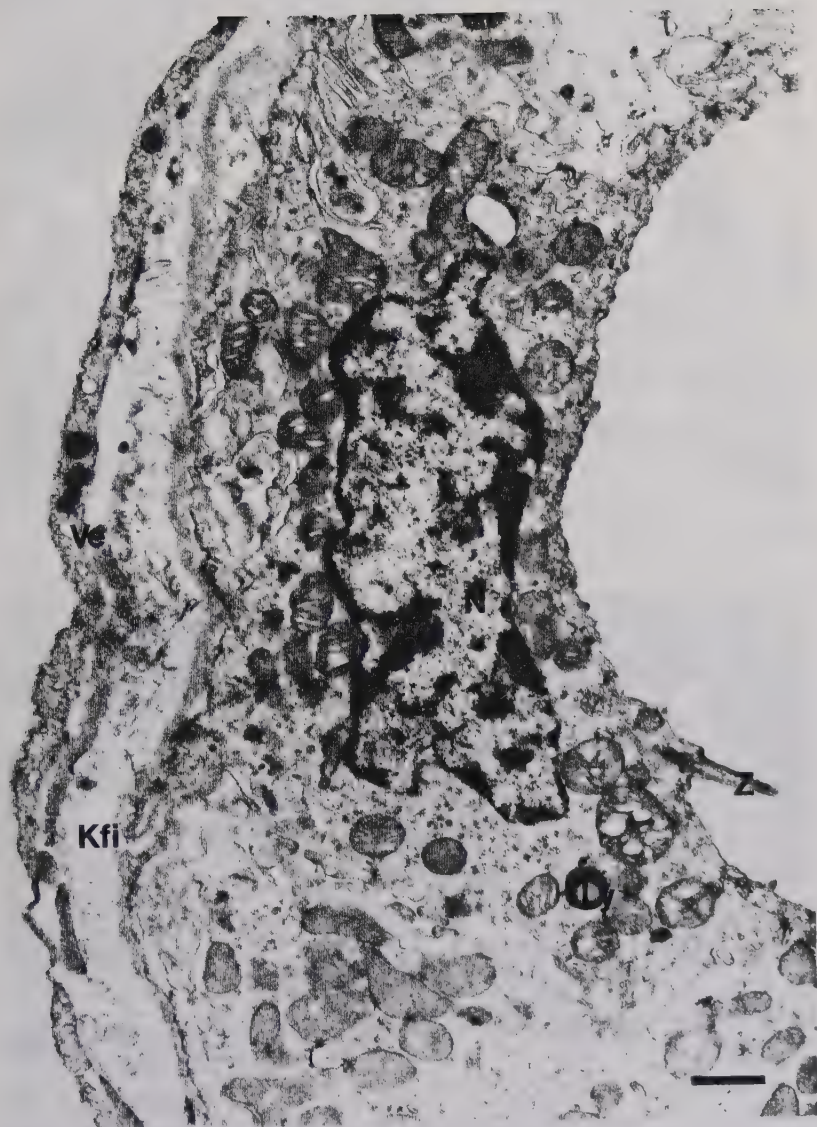


Abb.27 Endothel am Verbindungsstück

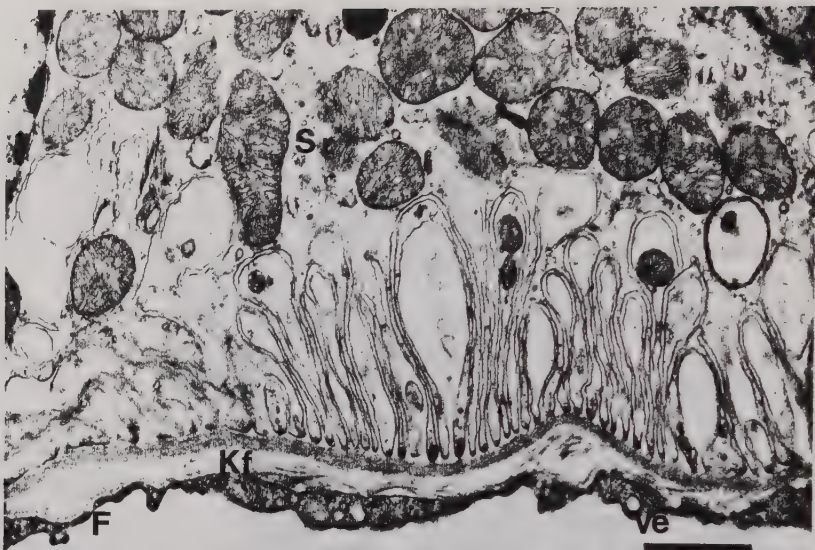


Abb. 28 Endothel am kortikalen Sammelrohr

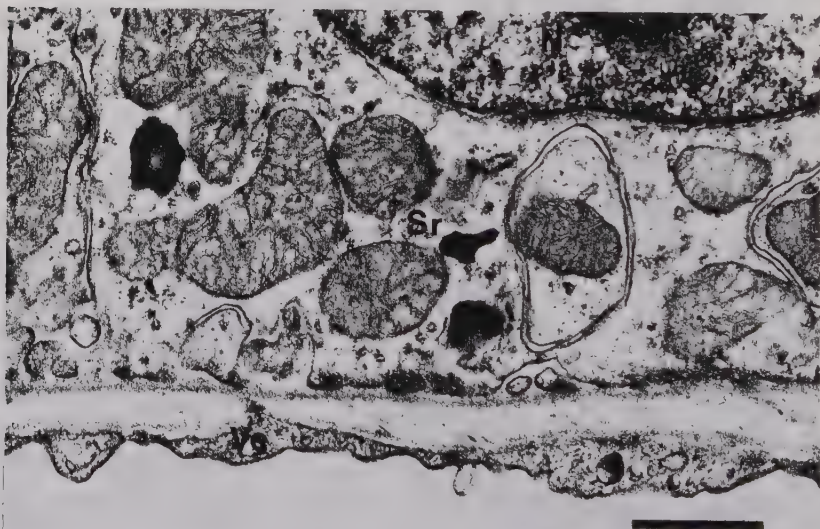


Abb. 29 Endothel am medullären Sammelrohr

spaltes. Die Häufigkeit und Größe der Vesikel nimmt ab. Sie liegen vereinzelt über das Zytoplasma verstreut. Der Interzellularspalt erreicht eine Weite von 1600 nm, die endotheliale BM ist ca. 160 nm dick, die des Sammelrohres ca. 350 nm. Fibrozytenausläufer treten in den Spalt.

5. Die Gefäßwand der Vasa recta

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Vasa recta setzen sich aus einem Endothel und einer Lage glatter Muskelzellen zusammen. Das Endothel (Abb.30, E) ist beim absteigenden Gefäß ungefenstert. Es entspricht der arteriellen Seite. Das aufsteigende Gefäß, die venöse Seite, hat vereinzelte Poren (Abb.31, F) mit Diaphragma (pro Schnittebene ein bis vier) ausgebildet. Die Endothelhöhe variiert zwischen 140 nm und 830 nm beim absteigenden und zwischen 30 nm und 300 nm beim aufsteigenden Gefäß.

Der abgeflachte Kern (N) des Vas rectum descendens zeigt eine gleichmäßige Verteilung des Hetero- und Euchromatins, randständig kann Heterochromatin verdichtet sein. Die Vasa recta ascendentes weisen einen unregelmäßig rund geformten, mit einigen Einziehungen ausgestatteten, Kern (N) auf.

Perinukleär häufen sich die Organellen, die in geringerer Dichte auch auf das übrige Zytoplasma verteilt sind. Es sind rundliche Mitochondrien vom Cristaetyp, rauhes ER, Polyribosomen, multivesikuläre Körper und Golgifelder nur in Kernnähe, unterschiedlich große zytopemische Vesikel, die besonders stark im aufsteigenden Gefäß ausgeprägt sind, verteilt.

Beim aufsteigenden Gefäß wird die Oberfläche, v.a. perinukleär durch zytopemische Vesikel aufgelockert.

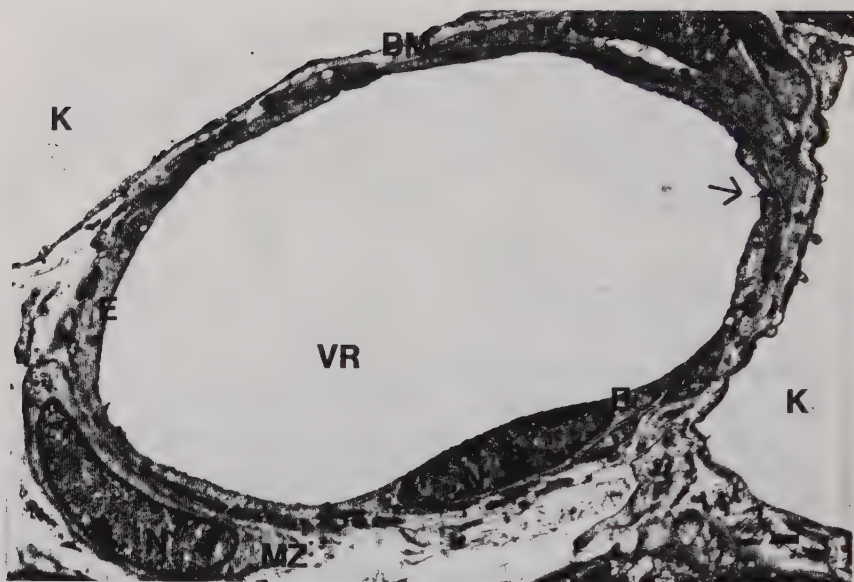


Abb.30 Vas rectum descendens

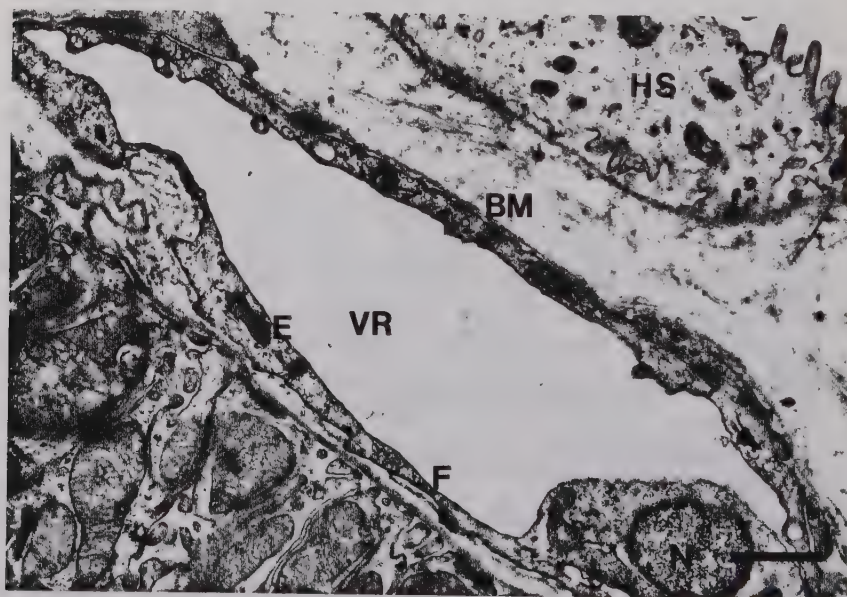


Abb.31 Vas rectum ascendens

An der Oberfläche des absteigenden Gefäßes sind schmale Zytoplasmafortsätze (Abb.30, ->), deren Länge etwa 540 nm und Breite etwa 70 nm beträgt, ohne spezifische Innenstruktur, ausgestülpt. Fortsätze differenzieren sich auch im aufsteigenden Gefäß, doch können sie dort eine Länge von 550 nm und eine Breite von 180 nm erreichen. Fibrillen und Vesikel sind als Inhalt nachweisbar. Die Fortsätze stehen in beiden Gefäßtypen bevorzugt an den Zellverbindungen. In einigen Fällen legen sie sich über die laterale Zellgrenze und berühren die luminale Oberfläche der Nachbarzelle.

Eine feste Verbindung wird durch Zonulae occludentes erreicht.

An der basalen Zelloberfläche legt sich eine ca. 80 bis 100 nm breite Basalmembran (Abb.30 und 31, BM) an. Diese umgibt Ausläufer der Endothelzelle von allen Seiten, während sie sich nicht zwischen Endothel und Muskelzellfortsätze schiebt.

Während das absteigende Gefäß engen Kontakt zu medullären Kapillaren herstellt - der interstitielle Spalt beträgt nur ca. 100 nm - legt sich das aufsteigende Gefäß eng an Tubuli an. Sein Endothel durchbricht stellenweise die BM, um direkt an die tubuläre BM zu grenzen. An mindestens einer Seite grenzen beide Gefäße an die Räume und Spalten des Bindegewebes.

7. Die Lymphgefäßwand

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Lymphgefäße laufen im perivasalen Bindegewebe, in unmittelbarer Nachbarschaft zu arteriellen Gefäßen.

Innen werden sie von einem flachen, ungefensterten Endothel (100-300 nm Breite) (Abb.32, E) ausgekleidet. Der abgeflachte Kern (N) besitzt viele Poren und eine deutlich ausgeprägte Kernmembran (Km). Das Heterochromatin ist in großen Kondensationen v.a. randständig orientiert. Das Zytoplasma ist auffallend dicht und enthält nur spärlich Organellen, wie Mitochondrien (M), rauhes ER (ER), Vesikel (Ve) und Polyribosomen (Pr). Sie sind gleichmäßig über den gesamten Zellkörper verteilt.

Die Zelloberfläche ist bis auf vereinzelte rundliche Projektionen (Mp) glatt. Sie wird von einer deutlich ausgeprägten Glykokalix überzogen.

Die lateralen Zellgrenzen lagern sich aneinander, überlappen sich oder interdigitieren. Es sind Zonulae occludentes (Zo) differenziert.

Die basale Oberfläche kann durch zytopemische Vesikel eingezogen sein.

Die Lymphgefäße werden von einer unvollständigen, etwa 30 nm breiten Basalmembran unterlagert. Sie ist besonders häufig an den Abschnitten unterbrochen, die Fibrozytenausläufer benachbart liegen. Die Fortsätze sind deutlich dichter strukturiert als die von Bindegewebszellen, die nicht an Lymphgefäße grenzen. Zytopemische Vesikel auf der Seite der Lymphgefäße sind häufig.

Lymphgefäße wurden nur in der Rinde, niemals im Mark gefunden.

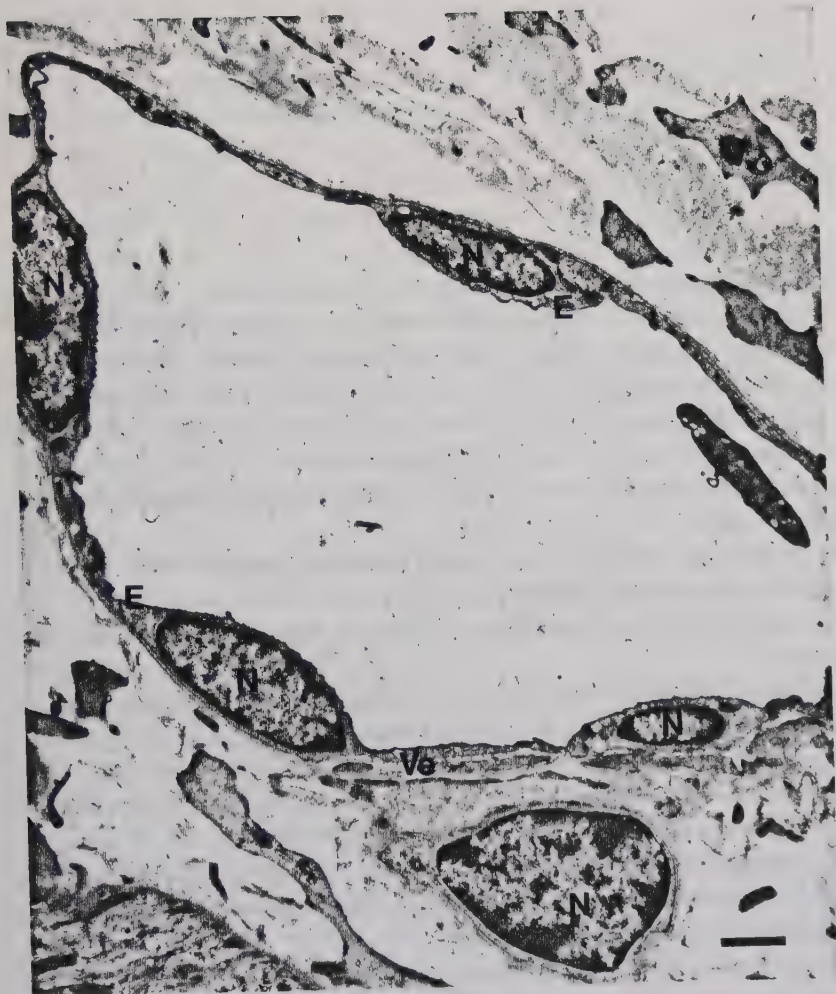


Abb.32 Lymphgefäß in der Rinde

C. Ultrastruktur des Juxtaglomerulären Apparates

1. Vas afferens

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Vas afferens wird innen von einem Endothel (Abb.33, E) ausgekleidet, dessen Kerne (N) unregelmäßig geformt sind und sich ins Lumen vorwölben. Das Heterochromatin ist deutlich strukturiert, die Kerne erscheinen elektro-nenoptisch dicht.

Das Endothel bildet v.a. in Glomerulumnähe zahlreiche Interdigitationen aus, die durch Zonulae occludentes verknüpft sind.

Zellfortsätze schieben sich stellenweise zwischen das Endothel und die BM, sie ist ca. 50 nm breit.

Die Zellausläufer sind durch Zonulae occludentes verknüpft.

Die Oberfläche ist durch kleine Einziehungen, endozytotische Vesikel, und Mikrovilli (Mv) ungleichmäßig geformt. Die Mikrovilli sind insbesondere in Kernnähe gehäuft, sie erreichen eine Höhe von bis zu 100 nm und eine Breite von ca. 40 nm.

In einigen Zellen bildet das Zytoplasma der Kernportion Ausstülpungen (->), in denen rauhes ER, Vesikel und freie Ribosomen lokalisiert sind.

Die Endothelzellen enthalten rundliche Mitochondrien (M) vom Cristaetyp, rauhes endoplasmatisches Retikulum (ER) und Golgifelder, v.a. im Kernbereich freie Ribosomen und Vesikel (Ve) in verschiedener Größe (30-100 nm im Durchmesser). Die Konzentration der Vesikel ist in den kernfernen Zellabschnitten größer.

Die Zellgrenzen schieben sich i.d.R. übereinander und bilden eine Kontaktstrecke bis zu 5700 nm. Luminal sind Zonulae occludentes ausgebildet. Seitlich der Zellkontak-

te können lange Mikrovilli ausgebildet sein.

Das Vas afferens wird von ein bis zwei Lagen glatter Muskulatur (MZ) unterlagert.

Die Zellkerne liegen zentral im Zytoplasma. Das Heterochromatin säumt als unterschiedlich breites Band den Kernrand. Der Nukleolus liegt exzentrisch.

Das Zytoplasma ist elektronenoptisch heller als das des Endothels. Es enthält einen ausgeprägten Golgiapparat, rauhes ER, rundliche Mitochondrien, freie Ribosomen, kleine Lysosomen und dichtstehende Myofibrillen. V.a. randständig fallen die gleichmäßig großen Vesikel (150-170 nm) auf. Haftplatten sind ausgebildet. Die Muskelzellen sind stark verzweigt und durch Gap junctions verbunden.

Jeder Fortsatz wird von einer BM umgeben (ca. 300 nm breit).

Die Durchmesser der Muskelzellausläufer werden, je näher sie dem Glomerulum liegen, immer kleiner. Zwischen die Fortsätze der glatten Muskulatur schieben sich Prozesse der epitheloiden Zellen (s.d.).

Außen an die glatten Muskelzellen des Vas afferens reichen die Ausläufer der Laciszellen.

Das Vas afferens zieht in die Bowman'sche Kapsel und teilt sich entweder sofort oder erst im späteren Verlauf in die Glomerulumkapillaren auf. Die Muskelzellfortsätze schieben sich manschettenartig ein Stück über die Kapsel. Das Gefäß und die Muskelzellen werden von einer ca. 800nm breiten BM (BM) unterlagert, die auf der anderen Seite bereits von Podozytenfüßchen (Pp) besetzt wird.

Die Muskelzellausläufer nehmen schnell an Größe ab, ebenso die Höhe des Endothels. Der Übergang zum fenestrierten Endothel ist fließend.

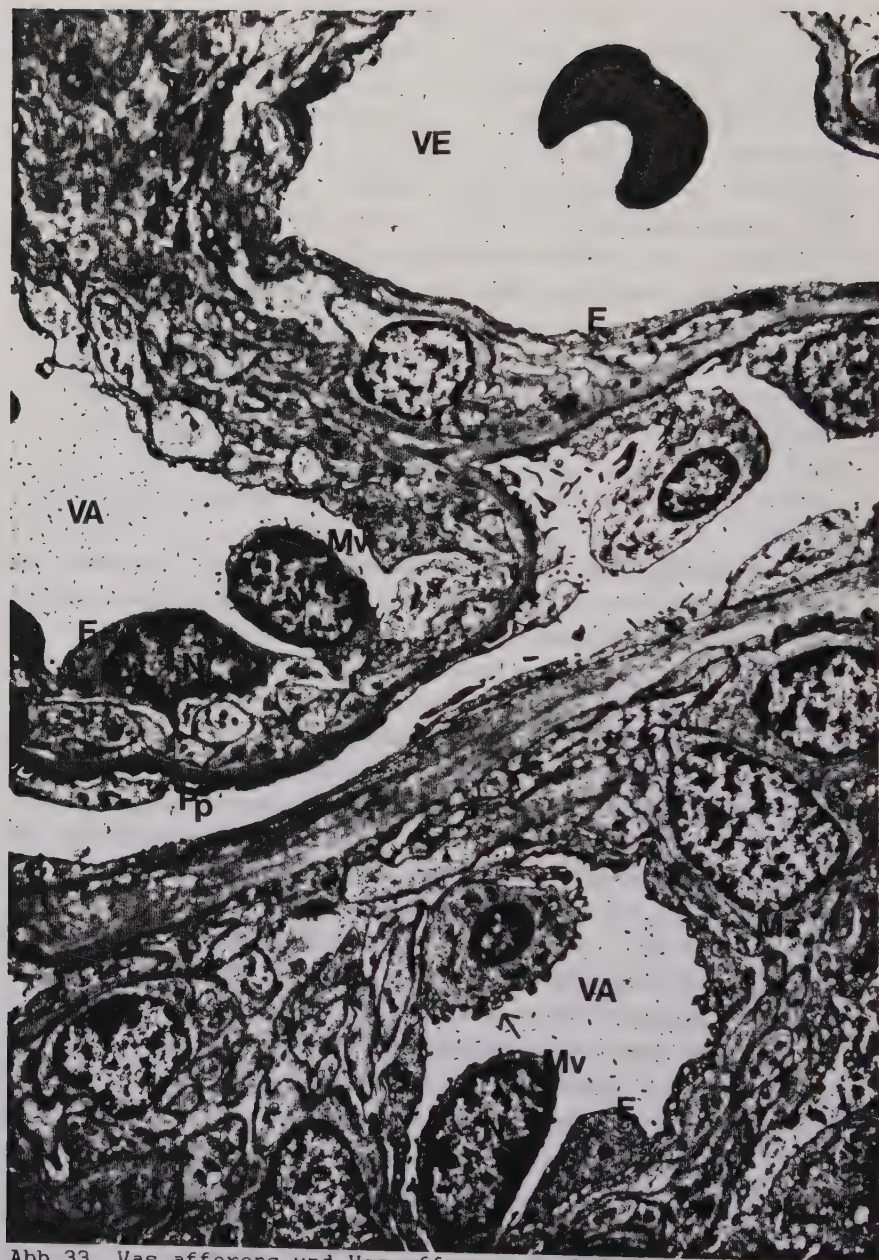


Abb.33 Vas afferens und Vas efferens am Gefäßpol

2. Vas efferens

Transmissionselektronenmikroskopie

Das Vas efferens (Abb.33, VA) sammelt das Blut aus dem Glomerulum. Es nimmt an Höhe rasch ab und an Poren zu, um innerhalb einer kurzen Strecke in das flache gefensterte Endothel der Kapillarschlingen überzugehen. Es ist ähnlich gebaut wie das Vas afferens. Die Muskelzellschicht ist geringer differenziert.

Die Zellkerne (N) wölben sich weniger weit in das Lumen. Das Zytoplasma weist außer häufigen intrazellulären Vesikeln (Ve) keine Besonderheiten auf.

Die Endotheloberfläche zeigt eine deutlich geringere Anzahl an freien Organellen. Zwischen den glatten Muskelzellen des Vas efferens kommen granuliert epitheloide Zellen nur selten vor.

Die Muskelschicht (MZ) weist zahlreiche Verdichtungszone und einen hohen Gehalt an Myofibrillen auf.

Das Vas efferens liegt in unmittelbarer Nähe des Vas afferens, wobei die glatten Muskelzellen beider Gefäße direkt aneinander zu liegen kommen, ohne von der glomerulären BM (BM) getrennt zu sein. Die BM des Vas afferens geht kontinuierlich auf das Vas efferens über.

3. Epitheloide Zellen

Transmissionselektronenmikroskopie

Die epitheloiden Zellen sind ein Bestandteil der Tunica media des Vas afferens, wesentlich seltener des Vas efferens. Sie sind, wie die normalen glatten Muskelzellen, stark verzweigt.

In der Nähe der Macula densa stehen die epitheloiden Zellen und die Laciszellen durch ihre Fortsätze in engem Kontakt. Eine Zuordnung zu bestimmten Zellen kann an Hand

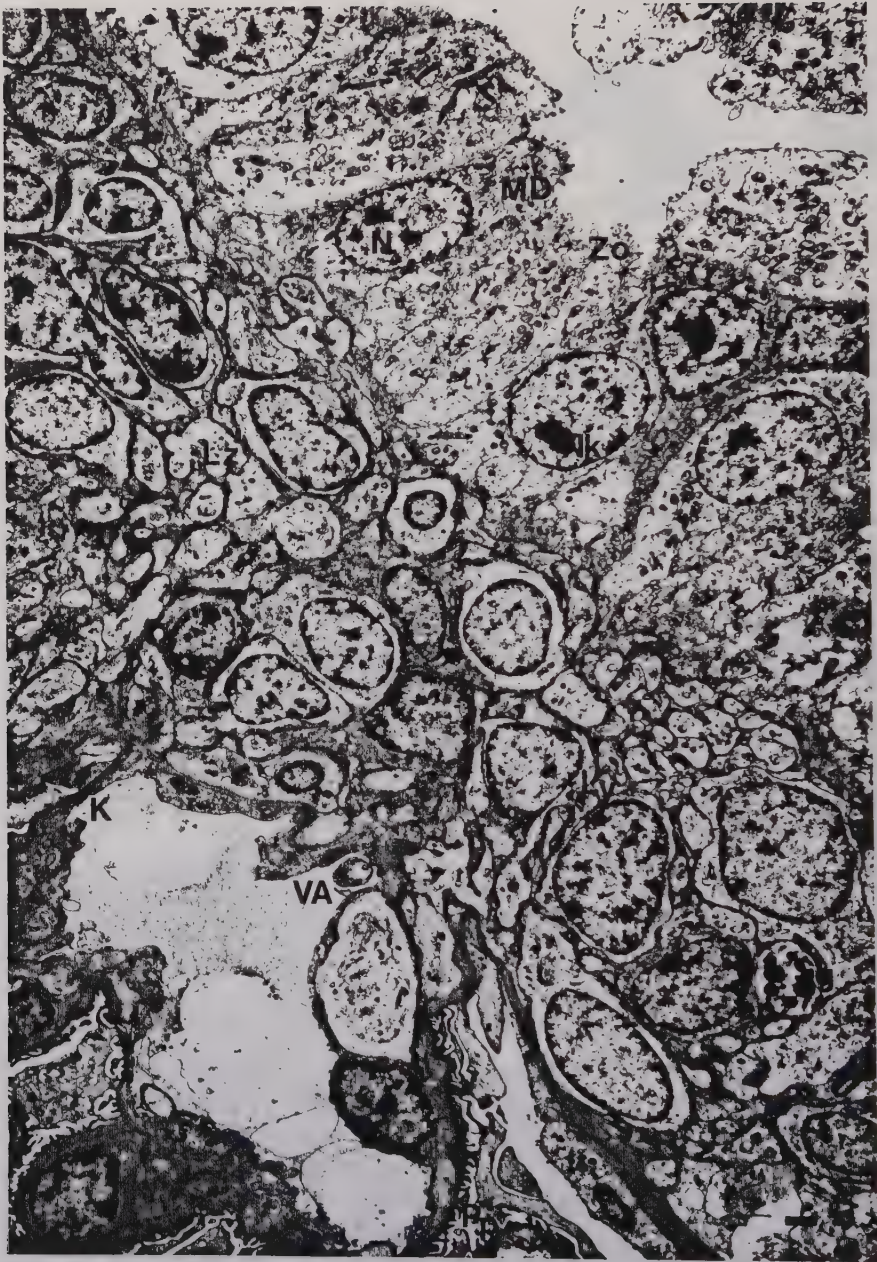


Abb.34 Übersicht des Juxtaglomerulären Apparates

der Schnittbilder nicht mehr erfolgen. Die epitheloiden Zellen unterscheiden sich von glatten Muskelzellen. Der Kern ist rund oder unregelmäßig geformt, das Heterochromatin randständig formiert, ein Nukleolus selten. Fibrillen sind längs orientiert und weniger dicht als in normalen Gefäßmuskelzellen. Kleine, rund bis ovale Mitochondrien vom Cristaetyp verteilen sich im gesamten Zytoplasma, vereinzelt enthalten sie intrazytoplasmatische Granula. Das raue ER ist häufig zu Zisternen erweitert, die flockiges Material von mäßiger elektronenoptischer Dichte enthalten. Freie Ribosomen sind nachweisbar. Das Golgifeld liegt meistens perinukleär. Lysosomen und multivesikuläre Körper treten selten auf. Mikrotubuli sind nur sporadisch in der Schnittebene getroffen. Sekretgranula liegen gruppenweise in einigen Fortsätzen. Sie enthalten homogenes Material von unterschiedlicher elektronenoptischer Dichte. Der Durchmesser der Granula variiert zwischen 160 nm und 800 nm. Das Zytoplasma setzt sich in lange, fingerförmige Fortsätze fort, deren Enden miteinander in Kontakt stehen. Sie werden von einer unterschiedlich breiten BM (80-200 nm Breite) umschlossen. Die BM setzt sich in die der Macula densa und die der Laciszellen fort.

4. Laciszellen

Transmissionselektronenmikroskopie

Die Laciszellen liegen im Winkel zwischen den glomerulären Arteriolen. Es sind stark verzweigte Zellen, deren Fortsätze in Glomerulurnähe an Größe abnehmen.

Der unregelmäßig geformte Kern mit einem schmalen Heterochromatinsaum wird von einem elektronenoptisch hellen Zytoplasma umschlossen. Nur wenige Organellen verteilen sich im Zellkörper. Perinukleär ist ein deutlich ausgeprägtes Golgifeld nachweisbar. Weiterhin sind kleine Mitochondrien, rauhes ER und freie Ribosomen zu nennen.

Die Fortsätze der Laciszellen sind morphologisch wie die der epitheloiden Zellen aufgebaut. Sie werden von einer BM umgrenzt.

Die Laciszellen haben Kontakt zu den epitheloiden Zellen, der Macula densa und den Mesangiumzellen.

5. Macula densa

Transmissionselektronenmikroskopie

Die hochprismatischen Macula densa Zellen (Abb.34) sind immer im Konvolut des Distalen Tubulus, angrenzend an den Gefäßpol des Glomerulum, lokalisiert.

Sie übertreffen die benachbarten Zellen des Distalen Tubulus deutlich an Höhe. Ihre Kerne (N) liegen zentral, seitlich nur von einem schmalen Zytoplasmasaum von der Nachbarzelle getrennt. Basal grenzen sie an die Ausläufer der Laciszellen (Lz) oder der epitheloiden Zellen (EpZ). Nur eine BM verläuft zwischen den genannten Strukturen. Die Kerne sind rund bis oval mit zahlreichen Kernporen. Das Heterochromatin ist in kleinen Kondensationen randständig und gleichmäßig angeordnet. Ein Nukleolus liegt exzentrisch.

Eine basale Faltung ist unregelmäßig ausgebildet und beschränkt sich auf das untere Drittel der Zelle. Die Mitochondrien (M) sind ungerichtet über das gesamte Zytoplasma verteilt. Im Vergleich zu den Mitochondrien des Distalen Tubulus ist ihre geringe Größe auffallend.

Rauhes ER (ER), Golgifeld (G) und Polyribosomen (Pr) sind basal und apikal des Kerns. Einige Vesikel (Ve) liegen unterhalb der luminalen Zellgrenze. Apikal sind auffallend dicht Zonulae occludentes (Zo) ausgebildet. Sie sind bis zu 1000 nm breit.

An der Oberfläche sind Mikrovilli (Mv) differenziert. Sie stehen dichter als auf den Zellen des Distalen Tubulus. Zentral kann über dem Kern eine Kinozilie ausgebildet sein. Ihre Basis ist ins Zytoplasma versenkt. Die Zellhöhe der Macula densa Zellen fällt über zwei bis drei Verbindungszellen auf das Niveau des Distalen Tubulus ab.

V. DISKUSSION

Die Ergebnisse über den Feinbau der glomerulären und peritubulären Kapillaren der Niere des Hundes ergänzen bereits vorhandene Befunde über die Morphologie der Blutgefäße des Hundes. Darüberhinaus werden grundsätzlich die bei den Labortieren, speziell der Ratte, beschriebenen strukturellen Besonderheiten bestätigt.

Bei der Präparation für die elektronenmikroskopischen Untersuchungen erwies sich die Niere des Hundes als ein außerordentlich "empfindliches" Organ.

So führte ein erhöhter Perfusionsdruck zum Austritt von Serum und Erythrozyten ins perivasale Gewebe, teilweise sogar ins Nephron. Jede Änderung der Osmolarität des Fixationsmediums zog strukturelle Deformationen von Tubulusabschnitten nach sich. Es entstanden massive Erweiterungen des basalen und lateralen Labyrinthes und des Interzellularspaltes. Besonders empfindlich erwiesen sich der Proximale Tubulus und Teile der Henle'schen Schleife. Schon BULGER (1976) sah bei der Ratte in einem zu niedrigen Perfusionsdruck die Ursache für membranartige Konfigurationen im Lumen des Proximalen Tubulus. Damit konnten die von MAUNSBACH (1966) und ANDREWS und COFFEY (1984) erkannten sog. Präparationsartefakte auch für das Nierengewebe des Hund bestätigt werden.

MURAKAMI (1973) und FUJITA (1976) präparierten Nierengewebe von Ratten für rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.

Dieses dafür angewandte Verfahren hat seine Vorteile in einem geringen Zeit- und Materialaufwand, eignet sich jedoch nur für Untersuchungen von Zelloberflächen. Für die Beurteilung der Zellinnenstruktur ist diese Methode ungeeignet.

Das von TOKUNAGA et al. (1974) entwickelte "Freeze cracking" ermöglicht die Untersuchung der Zelloberfläche und der Organellen der Zelle.

Dabei wird das Gewebe im gefrorenen Zustand gebrochen, wobei die Bruchkanten fast ausschließlich an den Zellgrenzen oder an den Grenzflächen zwischen Zytoplasma und den Organellen brechen. Dies sind stets Stellen mit der geringsten Festigkeit. Empfindliche Konfigurationen wie der Bürstensaum oder Kinozilien bleiben erhalten.

Gegenüber der Methode des Gefrierschneidens hatte dieses Verfahren von TOGUNAGA et al. (1974) den Vorteil glatter Bruchkanten ohne Verlagerung der Organellen.

Um die Vorzüge des "Freeze cracking" voll nutzen zu können, mußte die Gewebeprobe ganz durchgefroren sein und sofort mit kalter Gerätschaft gebrochen werden. Nur so konnte eine Überdehnung und Zerreißung von Zellverbänden oder eine Dislokationen von Zellbestandteilen vermieden werden.

Ein Nachteil der Methode war der nicht zu steuernde Bruch, insbesondere bei der Untersuchung eines eng umschriebenen Areals.

In den überwiegenden Fällen brach die Bowman'sche Kapsel als Ganzes aus dem Nierengewebe, in wenigen Fällen war die Lage der Epithelzellen gebrochen. Auch erwies es sich für die Untersuchung an der Niere als sinnvoll, Glycerin als Gefrierschutz anzuwenden. Die in der Literatur empfohlene Anwendung von DMSO (Dimethylsulfoxid) ist wegen der Zytotoxizität für die Niere ungeeignet.

Die Ergebnisse, die für die Ratte in der Literatur erstellt wurden, stimmen weitgehend mit den Befunden, die an der Hundeniere erzielt wurden, überein. Darüberhinaus treten morphologische Besonderheiten auf.

Die Bowman'sche Kapsel wird von einem flachen Epithel ausgekleidet, dem außen eine breite Basalmembran (300-600nm) anliegt. Während die regelmäßig auftretenden Kinozilien bereits wiederholt beschrieben wurden (FORSSMANN, 1973; ANDREWS/PORTER, 1974), wurde auf die kolbenartige Auftreibung, die am freien Ende einiger Zilien der Hunde-

niere nachgewiesen werden konnte, noch nicht eingegangen. In mehreren Arbeiten wird die Dehnungsfähigkeit der Kapsel beschrieben (FORSSMANN, 1973; u.a.). Zur Diskussion steht eine mögliche aktive Kontraktion der Kapsel. Diese Überlegung wird verstärkt durch die Aussage von UNSICKER und KRISCH (1975), daß es sich bei den Filamenten in den Epithelzellen vermutlich um Aktin und Myosinfilamente handelt. Beim Hund konnten Filamentbündel v.a. an der Zellperipherie gezeigt werden. Damit könnte die Kapsel durch Kontraktion bzw. Dilatation den Filtrationsdruck im Glomerulum und damit die Menge und die Zusammensetzung des Primärharns beeinflussen. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß hierfür den Zilien besondere Rezeptorfunktion im Sinne eines Druck- und/oder Chemorezeptors zukommt.

Die vergleichsweise breite Basalmembran wirkt einer Überdehnung der Kapsel entgegen und sorgt gleichzeitig für eine erhöhte Stabilität. Die große Zahl an Zonulae occludentes verhindert den Übertritt von Stoffen in das interstitielle Bindegewebe und fördert somit einen ökonomischen Weitertransport des Primärharns in den Proximalen Tubulus.

Das Endothel der Glomerulumkapillaren fällt durch seine starke Fenestration und seine Dünnwandigkeit auf. Wie bei der Ratte (FUJITA, 1976; ANDREWS/PORTER, 1976) ziehen von der perinukleären Region porenfreie Zytoplasmaverbreiterungen strahlenförmig über die Zelle. Diesen kann vermutlich eine stabilisierende Funktion für das dünne Endothel zugesprochen werden. In ihrer Gesamtheit wirken diese Zytoplasmaleisten dem intravasalen Druck entgegen und bieten darüberhinaus Organellen Platz.

Die Porengröße der Kapillarwand wird von FORSSMANN (1973) mit 80 nm angegeben, geringe Schwankungen seien fixationsbedingt. Die vorliegenden Ergebnisse beim Hund stimmen mit den Befunden von FUJITA (1976) an der Rattenniere

überein. Die Poren sind polygonal und ihr Durchmesser schwankt zwischen 50 und 120 nm. Unterschiedliche Durchmesser werden auch beim Hund in unmittelbarer Nachbarschaft angetroffen. Wie bereits bei ANDREWS/PORTER (1974) FARQUAR (1975) und FUJITA et al. (1976) für die Ratte erwähnt, sind auch beim Hund nicht alle Poren durch ein Diaphragma verschlossen. Ob dies auf eine Zerstörung durch die Präparation auf Grund der Fragilität dieser Struktur zurückzuführen ist, kann hier nicht entschieden werden. Rasterelektronenmikroskopisch wurden in der Kapillarwand des Glomerulum der Hundeniere fast ausschließlich offene Poren gefunden. Jedoch trat zumeist zentral gekörntes Material auf, das als Überrest eines Diaphragmas gedeutet werden könnte. Dies ist angesichts der Gefrierbehandlung nicht auszuschließen. Andererseits kann in der Aufsicht auch die Lamina rara interna dargestellt sein. Gegen die zweite Interpretation spricht die regelmäßig zentrale Lage des körnigen Materials.

Das Nebeneinander offener und geschlossener Poren beim Hund kann, wie die unterschiedliche Größe, funktionell von Bedeutung sein. Kleine Moleküle können alle Poren passieren, große dagegen nur weite Poren. Damit würden Albumine, Globuline und andere für den Körper wichtige Makromoleküle nur in sehr geringem Maße das Blut durch den glomerulären Filter verlassen.

Unterstellt man die gleiche Verteilung der Ladung an der Zellmembran und den Diaphragmen, wie sie SIMIONESCU (1981) an verschiedenen Endothelien einiger Labortiere aufzeigte, so ergibt sich für das glomeruläre Endothel des Hundes eine weitere Möglichkeit für die selektive Passage von Molekülen.

Diese Ladungen sind nach SIMIONESCU (1981) auf dem Plasmamembran nur locker verstreut, auf dem Diaphragma der Fenster jedoch dicht angeordnet.

Die mechanische Filterfunktion wird durch zahlreiche Tracerstudien gestützt (LATTA, 1960; FARQUAR, 1975; SCHURER

et al., 1980; u.v.a.).

Das vermehrte Auftreten von Oberflächenprojektionen an der Kapillarwand des Hundes im Kontaktbereich der Mesangiumzellen hat vermutlich die Oberflächenvergrößerung des Endothels zum Ziel.

Durch den Reichtum an Organellen der Mesangiumzellen des Hundes und den ausgedehnten unterschiedlich differenzierten Kontakten zwischen dem Endothel und dem Mesangium, erscheinen diese benachbarten Zellen als ein Ort hoher Aktivität im Sinne von Sekretion, Resorption und/oder Stoffaustausch.

BRENNER /RECTOR(1981) halten einen Zusammenhang zwischen Endothel, Mesangium und Renin-Angiotensinsystem für möglich, da das Mesangium sowohl mit den Glomerulumkapillaren als auch mit den Zellen des Juxtaglomerulären Apparates in Kontakt steht. Auf Grund der gleichen morphologischen Verhältnisse beim Hund ist diese Interpretation auch auf diese Gattung übertragbar.

Obwohl eine Zunahme der Zytoplasmafalten und Projektionen des glomerulären Endothels unter pathologischen Bedingungen von BRENNER/RECTOR (1981) erwähnt wird, ist diese Erklärung für den Hund unwahrscheinlich, da nur klinisch gesunde Hunde untersucht wurden.

Die von FUJITA et al. (1976) beschriebenen Verschmelzungen von Mikrovilli konnten beim Hund nicht nachgewiesen werden.

Die Morphologie der Podozyten des Hundes deckt sich mit den Angaben über die Podozyten von Ratten (SPINELLI, 1974; ANDREWS/PORTER, 1974; FUJITA et al., 1976; VASMANT et al. 1980).

Auch beim Hund konnten Kinozilien und unregelmäßig geformte mikrovilläre Strukturen v.a. auf dem perinukleären Zytoplasma und den großen Fortsätzen nachgewiesen werden. Eine Funktion der Zilien als Chemorezeptor ist nicht auszuschließen.

Konfluierende Pedikelfelder mit unklaren Grenzen, wie sie SPINELLI (1974) beschrieb, wurden in der vorliegenden Untersuchung wiederholt beobachtet. Diese können als pathologischer Befund (Nephrosen) oder als Regenerat interpretiert werden. SPINELLI (1974) vermutete eine unvollständige Ausdifferenzierung der Pedikel. BRENNER und RECTOR (1981) bestätigten das Verschmelzen von Pedikeln bei Proteinurie.

Die von ANDREWS und PORTER (1974) beschriebenen Zytoplasmabrücken zwischen Pedikeln lassen sich auch beim Hund nachweisen. Ihre Funktion ist unklar.

Beim Hund treten neben den regelmäßig geordneten Pedikeln der Podozyten einzelne Füßchen auf, die sich nicht dem allgemeinen morphologischen Prinzip unterordnen. Diese Pedikel überspringen ihren Ursprungsfortsatz oder benachbarte Pedikel oder ziehen direkt zum nächsten Sekundärfortsatz. Ihre funktionelle Bedeutung ist unklar.

In den Fortsätzen und den Füßchen der Podozyten konnten Filamente in verschiedener Verlaufsrichtung nachgewiesen werden. In Übereinstimmung mit VASMANT et al. (1984) dienen diese als stabilisierende Faktoren.

Von der Anordnung der Filamente wäre durch eine Kontraktion zusätzlich auch die Beeinflussung der "Slit membran" und damit der Filtrationsrate und der Zusammensetzung des Filtrates denkbar. Die Regelung könnte über die Kinozilie laufen, die chemorezeptorisch den Primärharn analysiert. Eine hohe Stoffwechselaktivität ist durch die zahlreichen Organellen, die in den Podozyten des Hundes differenziert sind, anzunehmen.

Die Blut-Harn-Schranke des Hundes setzt sich aus dem gefensterten Endothel, der dreischichtigen, ca. 120-180 nm breiten Basalmembran und den Podozytenpedikeln mit ihrer feinen Schlitzmembran zusammen.

In der vorliegenden Untersuchung können für den Hund die gleichen Strukturmerkmale bestätigt werden, wie sie bei

anderen Säugern bereits beschrieben wurden (LATTA, 1970; BÄR, 1973; FORSSMANN, 1973; SPINELLI, 1974; FUJITA, 1976; SCHURER, 1980; u.v.a.).

Das direkte Aneinanderliegen von Kapillaren, die nur von einem schmalen Podozytenfortsatz ohne Pedikel getrennt werden, hat ihre Ursache wohl in der Zufälligkeit der Lokalisation der Kapillaren und keine spezielle funktionelle Bedeutung.

Die Blut-Harn-Schranke der Niere ist die Filtrationsbarriere. Sie besteht aus mehreren unterschiedlich gerasterten Sieben. Welche Barriere die Hauptfunktion übernimmt, ist bis heute Gegenstand heftiger Diskussionen.

Viele Studien v.a. mit unterschiedlich großen Tracern wurden zur Klärung dieses Themas unternommen.

Die Untersuchungen an Winterschläfern von ZIMNEY und RIGAMER (1966) erbrachten folgende Befunde: während des Winterschlafes:

- sinkt die Zahl und die Größe der Endothelporen.
- steigt die Dicke der Basalmembran etwa auf das Doppelte.
- verengen sich Schlitzporen durch Schwellung der Pedikel.

Demnach sind sowohl Endothel und Basalmembran, als auch die Schlitzporen an der Filtration beteiligt.

FARQUAR (1975) schließt aus ihren Studien mit Dextranen als Tracer, daß die glomeruläre Basalmembran die Hauptbarriere des Filters für Moleküle ist, die die gleiche Größe wie Plasmaproteine besitzen. SCHURER et al. (1980) hielten die Basalmembran zusammen mit den Schlitzporen für die Hauptbarriere. Die Lamina rara interna wirkt als Vorfilter, die Lamina densa als mechanischer Filter.

Die unterschiedliche Differenzierung der Kapillarporen des Hundes macht eine funktionelle Bedeutung des Endothels im Rahmen der glomerulären Filtration wahrscheinlich.

Eine rein mechanische Selektion ist durch den variierten

Porendurchmesser gegeben, verstärkt durch die nur stellenweise ausgebildeten Diaphragmen.

Bezieht man die von SIMIONESCU (1981) beschriebene unterschiedliche Verteilung der anionischen Bindungsstellen am Plasmalemm und an den Diaphragmen der Poren in die Überlegung mit ein, so ergibt sich eine zusätzliche biochemische Siebwirkung.

Durch die Ausbildung von Endothelfalten, Zytoplasmavorwölbungen und Projektionen beim Hund wird eine Blutstromverlangsamung bewirkt, die eine bessere Passage ermöglicht.

Die nachgeschalteten Filter, Basalmembran und Schlitzporen, können durch ihre kleineren Porendurchmesser (Lücken zwischen den Fibrillen ca. 50 nm, Schlitzporen ca. 40-60 nm) und ihre spezifische Verteilung von biochemischen Bindungsstellen die Selektivität des Filters steigern.

Das Mesangium des Glomerulum des Hundes zeigt die gleichen Strukturmerkmale wie das der Ratte. Auch beim Hund sind die unterschiedlichen mesangio-endothelialen Kontakte ausgebildet, wie MELMAN (1984) diese für die Ratte beschreibt.

Funktionell werden dem Mesangium verschiedene Funktionen zugeschrieben, die durch physiologische Studien gestützt oder bewiesen wurden.

FORSSMANN (1973) und MICHAEL et al. (1980) wiesen Phagozytoseaktivität nach. Das häufige Auftreten von Lysosomen in den Mesangiumzellen des Hundes lassen ebenfalls auf eine phagozytotische Aktivität beim Hund schließen.

Übereinstimmend mit LATTA (1960) ist die Stützfunktion und der Schutz vor Überdehnung für die Glomerulumkapillare durch die zentrale Lage des Mesangiums zu berücksichtigen.

Weiterhin zeigten MICHAEL et al. (1980) einen Proteintransit von der Kapillare über das Mesangium zum Juxtaglomerulären Apparat auf. Ein Transport in umgekehrter

Richtung scheint ihnen möglich, konnte aber nicht bewiesen werden.

MELMAN/SHUTKA (1984) interpretieren die Mesangiumfortsätze, die die Kapillarwand durchbrechen als Presso- und Chemorezeptoren, die durch ihren direkten Kontakt zu den Zellen des Juxtaglomerulären Apparates ihre Information weiterleiten können. Die unterschiedlich differenzierten Kontakte zwischen Mesangium und Endothel sind auch beim Hund ausgebildet.

Durch ihre kontraktilen Elemente ist eine Beeinflussung der Filtrationsrate nicht auszuschließen.

Wesentlich dürfte ihre Fähigkeit zur Phagozytose sein, wodurch sie in der Lage sind, Immunkörper u.ä. aus dem Filter zu entfernen. Durch den Reichtum an Organellen muß das Mesangium zu hoher Stoffwechselleistung fähig sein. Die von ihr gebildete Matrix hat eine geringfügig andere Zusammensetzung als die Basalmembran und damit ein anderes Bindungs- und Transportpotential.

Der direkte Kontakt zum Juxtaglomerulären Apparat und die Ausbildung spezifischer Kontakte mit dem Endothel, die auch beim Hund gefunden wurden, stehen sicher in enger Korrelation mit der Funktion des Mesangiums.

Im Proximalen Tubulus finden eine Reihe von Resorptionsvorgängen statt. Dazu gehört der Transport von Elektrolyten, wie Natrium, Chlor, Kalium, Carbonat und Phosphat, ebenso wie die Resorption von Eiweiß, Aminosäuren, Glucose und Harnsäure.

Es sind unterschiedliche Transportmechanismen differenziert (z.B. die Natrium-Kalium-Pumpe, Carriesysteme für Aminosäuren, Diffusion entlang von Druckgradienten, Zytopenesis u.a.).

Die Resorptionsaufgabe der Tubuluszellen ist z.T. sehr genau bekannt. Unklar ist, über welchen Weg die resobierten Stoffe aus dem Interzellularspalt durch das Endothel in das Kapillarlumen gelangen.

Dabei kommen beim Hund prinzipiell drei Transitwege in Frage:

1. Zwischen zwei Zellen über den Interzellularspalt.
2. Über zytopemische Bläschen.
3. Durch die Poren des Endothels.

Übereinstimmend mit LANGER (1975), dessen Tracer durch den Interzellularspalt massiv behindert wurden, ist der erste Weg unwahrscheinlich. In der vorliegenden Untersuchung wurden nur sehr enge, sich weit überlappende Endothelgrenzen mit Zonulae occludentes gefunden. Zudem sind Interzellularspalten in den peritubulären Kapillaren selten. Ein quantitativer Transport ist über diesen Weg somit auszuschließen.

Entgegen LANGER (1975), der auch den zytopemischen Transportweg für unwahrscheinlich hielt, da die Dichte der Vesikel nach seinen Untersuchungen gering war, wurde beim Hund eine streckenweise ausgesprochen hohe Vesikeldichte gefunden. Eine zytopemische Aktivität ist beim Hund deshalb durchaus denkbar. Die Vesikel sind im gesamten Endothel nachweisbar und sowohl basal, als auch apikal geöffnet. An einigen Bläschen konnte die Entleerung von feingranuliertem Material ins Kapillarlumen dargestellt werden.

SIMIONESCU (1981) erwähnt die hohe Transportkapazität von Endothelien als semipermeable Barriere mit einer ungewöhnlich hohen Permeabilität für Wasser und Flüssigkeiten, einschließlich Makromolekülen, wie Plasmaproteine und große Tracer.

Zusätzlich traten Reihen von Vesikeln auf, die eine Art Kanal von einer Seite des Endothels zur anderen bildeten. Kanäle, Vesikel und Fenster sind durch Diaphragmen verschlossen. Diese besonderen Strukturen konnten im Endothel peritubulärer Kapillaren der Hundeniere nachgewiesen werden.

Eine Möglichkeit zum selektiven Transport von Molekülen ergibt sich aus der Verteilung der Anionensitze des Endo-

thels. So sind sie im Plasmalemm in lockerer Dichte verteilt und fehlen an plasmalemmalen Vesikeln, transendothelialen Kanälen und den mit ihnen verbunden Diaphragmen fast vollständig.

Im Gegensatz dazu sind sie an den "coated pits", den "coated vesicles" und den Diaphragmen der Fenster hochkonzentriert (SIMIONESCU, 1981).

Die Endothelporen dienen sicher als Durchgangspforte für Proteine, da LANGER (1975) auf beiden Seiten des Diaphragmas Tracerproteine nachweisen konnte.

Nach den vorliegenden Untersuchungen ist die Porendichte der Kapillarwände am Proximalen Tubulus am höchsten. Es ist bekannt, daß ein Großteil für den Körper wichtige Moleküle bereits im Proximalen Tubulus resorbiert werden.

Beim Hund wurden bei der vorliegenden Studie Kinozilien nicht nur im Proximalen Tubulus, sondern auch im Lumen der Kapillaren nachgewiesen. Im Proximalen Tubulus besitzt fast jede Zelle eine Zilie, in den Kapillaren treten sie wesentlich seltener auf. Morphologische Besonderheiten konnten in den zilientragenden Endothelzellen nicht nachgewiesen werden.

Dies mag an der Seltenheit liegen, mit der eine Kinozilie im Transmissionsschnitt vollständig mit der Zelle auf der Schnittebene getroffen war. Im Rasterelektronenmikroskop konnten diese wesentlich häufiger gesehen werden.

Ihre Funktion ist vermutlich im Erkennen von chemischen Zusammensetzungen und von Druckverhältnissen zu sehen.

Als Besonderheit kann das Auftreten einer Gefäßklappe in einer peritubulären Kapillare des Proximalen Tubulus angesehen werden, bisher waren Klappen nur bis in den Venae interlobares des Hundes beschrieben worden (V. KUGELGEN et al., 1959). Ob da Auftreten von Klappen auch in kleinen Gefäßen eine Besonderheit beim Hund darstellen oder nur zufällig eine Klappe in der Endstrombahn ausgebildet

ist, kann nicht entschieden werden.

Der dünne Teil der Henle'schen Schleife steigt ins Mark ab, und Wasser verläßt, dem osmotischen Gradienten folgend, diesen Nephronabschnitt.

Als morphologisches Äquivalent für die hohe Wasserpermeabilität stehen beim Hund überwiegend gleichmäßig flaches Endothel, auffallend starke Vesikelbildung, Vakuolen und eine abschnittsweise durchbrochene Basalmembran.

Das Endothel der dünnen Henle'schen Schleife wirkt wie "durchsaftet". Auch in diesem Tubulusabschnitt sind Kinozilien differenziert. Zusätzlich ist die Endotheloberfläche durch streckenweise dicht stehende keulenartige Projektionen vergrößert.

Der dicke aufsteigende Teil der Henle'schen Schleife erhöht den osmotischen Druckgradienten im Mark durch aktiven Natriumtransport ins Markinterstitium. Die Wand der dicken Henle'schleife ist wasserundurchlässig.

In diesem Abschnitt sind vermehrt Endothelporen in der Schnittebene getroffen. Zytopemische Vesikel sind häufig. Ob der direkte Kontakt zwischen Endothelfortsätzen, die die Basalmembran durchbrechen und der Epithelzelle des Tubulus im Zusammenhang mit Transportvorgängen steht, ist ungeklärt.

Im Distalen Tubulus verläßt Natrium, Chlor und Carbonat den Tubulus, sezerniert wird Kalium und Ammoniak.

Beim Hund sind die Poren im Distalen Tubulus gruppenweise angeordnet. Dazwischen liegen Felder ohne Fenster.

Bedenkt man die wesentlich geringere Resorptionleistung des Distalen Tubulus, so stimmen Morphologie und Funktion überein.

Als physiologische Besonderheit des Hundes gilt die Unempfindlichkeit des Distalen Tubulus gegenüber dem Antidiuretischen Hormon (ADH, Vasopressin). Nur das Sammelrohr des Hundes ist empfänglich für ADH.

Die peritubuläre Basalmembran stellt nach LANGER (1975) keine strenge Barriere für hochmolekulare Stoffe dar, da auch hochmolekulare Tracer die Basalmembran passieren können. Danach käme der unterschiedlich dick ausgeprägten Basalmembran der einzelnen Nephronabschnitte keine wesentliche funktionelle Bedeutung im tubulo-endothelialen Transportgeschehen zu. Dies ist, in Anbetracht der sehr unterschiedlichen Ausprägung der tubulären (60-250 nm) und der endothelialen (30-100 nm) Basalmembrandicke in den einzelnen Abschnitten überraschend. Auch die Breite des interstitiellen Spaltes variiert zwischen 50-500 nm.

Die Hauptaufgabe des Sammelrohrsystems besteht in der Harnkonzentrierung durch Wasserresorption. Diese geschieht über das sog. "Haarnadelgegenstromprinzip" (ULLRICH/HIERHOLZER, 1976; BRENNER/RECTOR, 1981; SCHEUNERT/TRAUTMANN, 1987) und unter dem Einfluß von ADH, ohne dessen Einwirkung das Sammelrohr absolut wasserundurchlässig ist.

Eine weitere Aufgabe ist die teilweise Resorption von Harnstoff v.a. in Papillennähe (BRENNER/RECTOR, 1981).

Im Endothel der peritubulären Kapillaren des Sammelrohrs des Hundes liegen spärlich Organellen. Dieser Befund stimmt mit der passiven Diffusion von Wasser überein.

Der Aufbau der Vasa recta der Hundeniere ist dem der Ratteniere gleich (SCHWARTZ et al., 1976; BULGER et al., 1979).

Der absteigende Schenkel zeichnet sich durch ein ungefenestertes Endothel, eine kontinuierliche Basalmembran und eine Lage glatter Muskelzellen aus. Nur wenige zytopem-

sische Vesikel sind ausgebildet. Der Kontakt des absteigenden Gefäßes zu Kapillaren ist enger als zu Tubuli. Es liegen morphologisch keine Befunde für einen Stoffaustausch mit den Tubulusabschnitten vor. Das Vas rectum descendens hätte somit nur die Aufgabe, die Blutzufuhr des Marks zu sichern.

Das aufsteigende Gefäß weist prinzipiell den gleichen Aufbau auf. Es sind jedoch Poren ausgebildet und eine rege zytopemische Aktivität läßt sich v.a. perinukleär nachweisen.

Der Kontakt zu Nephronabschnitten ist eng, zu Kapillaren selten.

Die vorliegenden Befunde unterstützen die Aussage von SCHWARTZ et al. (1976), daß das absteigende Gefäß dem arteriellen Schenkel, das aufsteigende dem venösen Schenkel entspricht und kapilläre Transportaufgaben übernimmt.

Für die Lymphgefäße der Rinde des Hundes gelten die gleichen morphologischen Charakteristika wie für die anderen Säuger (KRIZ/DIETERICH, 1970; GORGAS, 1978; KAISLING/KRIZ, 1979; ALBERTINE/O`MORCHOE, 1980; O`MORCHOE/ALBERTINE, 1980). Sie verlaufen in Begleitung von Arterien, weisen keine Poren auf und besitzen eine unvollständige Basalmembran.

Im Mark konnten keine Lymphkapillaren oder Gefäße nachgewiesen werden. Dies bestätigt frühere Aussagen von KRIZ/DIETERICH, 1970 u.v.a. Der Abfluß der Lymphe des Markes direkt über Blutkapillaren (KRIZ/DIETERICH, 1970) oder über Spalträume des Interstitiums, das im Mark gut entwickelt ist (ALBERTINE/O`MORCHOE, 1980), ist denkbar.

Der Juxtaglomeruläre Apparat, bestehend aus den Vasa afferentia und efferentia, den Lacis-, den epitheloiden - und den Macula densa Zellen, unterscheidet sich nur im Granulagehalt der epitheloiden Zellen wesentlich von der für die Ratte und andere Labortiere beschriebenen Morpho-

logie. Zu dem gleichen Ergebniss gelangte SPANGLER (1979).

BARAJAS (1970) zitiert zwei Theorien für die Reninsekretion des JGA: 1. die Druckrezeptor-Theorie

2. die Macula densa-Theorie

BUCHER/KAISLING (1973) weisen auf den Zusammenhang zwischen dem JGA und Aldosteron aus der Zona glomerulosa der Nebenniere hin. So wirkt der Aldosteronspiegel im Sinne eines negativen Feed Back auf die epitheloiden Zellen.

Eine deutliche Reaktion zeigen die epitheloiden Zellen auf eine Änderung des Natrium-Spiegels im Blutplasma. Der Granulagehalt sinkt bei Natriumreichtum.

Auf Änderung der Durchblutung reagieren die epitheloiden Zellen mit Hyperplasie und Granulationsteigerung bei schwacher bzw. mit einem Absinken der Reninaktivität bei verstärkter Durchblutung.

Die Möglichkeit, daß die epitheloiden Zellen auch Erythropoetin oder dessen Vorstufen enthalten, wird von einigen Autoren für möglich gehalten, ist jedoch noch nicht bewiesen (BUCHER/KAISLING, 1973).

Phagozytose der Laciszellen wurde gezeigt (BUCHER/KAISLING, 1973). In den Laciszellen des Hundes läßt sich eine unterschiedlich hohe Zahl von Lysosomen nachweisen. Dies spricht für phagozytierende Aktivität.

Es wurden beim Hund Vasa afferentia und efferentia gefunden, die bis ins Glomerulum ziehen, außen von Podozytenpedikeln besetzt werden und sich erst ein Stück nach Eintritt in die Bowman'sche Kapsel in die Kapillarschlingen des Glomerulum aufzweigen. Gleichsinnige Befunde beschreiben ROSIVALL und TAUGNER (1986) für die Ratte.

Poren im Vas afferens konnten im Gegensatz zu ROSIVALL und TAUGNER (1986) bei den vorliegenden Untersuchungen am Hund nicht gefunden werden.

Es ist seit längerem bekannt, daß die Macula densa die Zusammensetzung, speziell die Natrium-Chlorid-Konzentration des Distalen Konvolutes registriert und an den JGA

weitergibt. Diese Chemorezeptorfunktion könnte die Kinozilie, die sich auf den Macula densa Zellen erhebt, erfüllen. Die spezifische Morphologie der Zellen, verglichen mit den üblichen Zellen des Distalen Konvoluts steht damit im Einklang. Nach ROSIVALL/TAUGNER (1986) muß die Information der Macula densa auf humoralem Weg an die Zielzelle gelangen.

CHRISTENSEN et al. (1979) unterstreichen die wichtige Rolle der Laciszellen für die Aufgabe des JGA, da sie zwischen der Macula densa und den Arteriolen liegen. Auf Grund der morphologischen Gegenheiten läßt sich jedoch nicht entscheiden, welche Zellgruppe für das Feed Back verantwortlich ist.

Die bei den vorliegenden Proben beschriebenen Projektionen des perinukleären Zytoplasmas können vermutlich im Sinne einer pathologischen Veränderung gedeutet werden. Vergleichbares berichtet HAMMERSEN (1977) von Gefäßen anderer Organe.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Als Untersuchungsmaterial dienten Nierenproben von 21 Hunden, die im Rahmen eines renalen Transplantationsprojektes als Kontrollorgane zur Verfügung standen.

Die Organproben wurden durch Perfusion der A. renalis in situ fixiert und nach zusätzlicher Immersionsfixation routinemäßig für die Transmission- und Rasterelektronenmikroskopie bearbeitet.

Die elektronenmikroskopischen Studien der glomerulären und peritubulären Wandabschnitte der Kapillaren führte zu folgenden Ergebnissen:

Die Wand der glomerulären Kapillaren wird von einem gefensterten Endothel mit einer Porenweite von 50-120 nm, ausgekleidet, der außen eine dreischichtige ca. 120-180 nm breite Basalmembran (Lamina rara interna, Lamina densa, Lamina rara externa) anliegt.

Die weitverzweigten Podozyten besetzen mit ihren Pedikeln die Lamina rara externa. Zwischen den Füßchen liegt ein 40-60 nm breiter Spalt, der von einer Membran mit zentraler Verdichtung überspannt wird.

Die Mesangiumzellen liegen im Zentrum des Glomerulum und schließen Mitochondrien, Vesikel, rauhes Endoplasmatisches Retikulum, Lysosomen und eine unterschiedliche Menge von basalmembranähnlicher Matrix ein. Sie bilden mit ihren Fortsätzen unterschiedlich differenzierte Kontakte zum Endothel aus:

- I. An der Kontaktstrecke zum Mesangium ist das Endothel verbreitert und beinhaltet vermehrt Organellen.
- II. Der mesangiale Fortsatz wölbt sich ins Lumen vor, ohne das gefensterte Endothel zu durchbrechen.
- III. Fortsätze des Mesangiums durchbrechen das Endothel.
- IV. Vermehrte Faltung des Endothels tritt an den, dem Mesangium benachbarten Kapillarabschnitten auf.

Das Endothel der peritubulären Kapillaren ist extrem flach und durch Poren unterbrochen. Abhängig vom anlie-

genden Nephronabschnitt ist im Bereich des Proximalen Tubulus die höchste Anzahl der im Schnittbild getroffenen Poren nachweisbar. Hier sind auch stark verbreiterte Endothelabschnitte entwickelt, die Organellen enthalten. Die Zytoplasmavorwölbungen fehlen in dieser Form anderen Kapillarendothelien.

Die Kapillarabschnitte an der dünnen Henle'schen Schleife sind durch starke Vesikelbildung und kurze keulenartige Projektionen gekennzeichnet.

Am dicken Teil der Henle'schen Schleife kann streckenweise die Basalmembran unterbrochen sein.

Das Zytoplasma der Kapillaren des Distalen Tubulus ist über weite Strecken flach differenziert. Das Endothel zeigt deutlich weniger Poren als das am Proximalen Tubulus. Die Poren können gruppenweise oder diffus verteilt sein. Die Dicke der Basalmembran beträgt ca. 40 nm. Die Poren liegen nicht nur an der Kontaktstrecke zum Tubulus, sondern auch benachbart zum interstitiellen Bindegewebe. Die Kapillaren des Verbindungsstückes sind durch ein gleichmäßig flaches (250–350 nm breites) Endothel gekennzeichnet, das nur wenige Poren in ungeordneter Verteilung aufweist.

Am Gefäß des Sammelrohres sind eine wechselnde Endothelhöhe (bis zu 500 nm Höhe), wenige Organellen und eine unvollständige Basalmembran nachweisbar.

In fast allen Gefäßabschnitten sind Kinozilien ausgebildet.

Als Besonderheit könnte das Auftreten einer Gefäßklappe im Endothelrohr am Proximalen Tubulus angesehen werden.

Der Juxtaglomeruläre Apparat des Hundes entspricht grundsätzlich im Aufbau dem anderer Säuger. Er unterscheidet sich aber durch einen wesentlich geringeren Gehalt an Granula in den epitheloiden Zellen. Die morphologischen Befunde werden in Hinblick auf ihre mögliche funktionelle Bedeutung diskutiert.

VII. SUMMARY

The Ultrastructure of the Glomerular and Peritubular Vessels in the Kidney of the Dog.

Specimens from control-organs of 21 dogs belonging to a renal transplantation project served as a basis for investigation. The kidney-specimens were fixed through the A. renalis by perfusion and then, after additional immersion-fixation, prepared for Transmission and Scanning electron microscopy.

The studies of the glomerular and peritubular capillaries showed the following results:

The capillary wall is lined with a fenestrated endothelium with pores of 50-120 nm diameter and bordered outside by a triple layer of basement membrane, which is about 120-180 nm thick (Lamina rara interna, Lamina densa, Lamina rara externa).

The pedicles of the branching podocytes extend over the Lamina rara externa. Between the pedicles there is a small slit showing a width of about 40-60 nm and spanned by a membrane with a central knot.

The mesangial cells are situated in the center of the glomerulum, including mitochondria, vesicles, rough endoplasmic reticulum, lysosomes and more or less matrix. There are different forms of contact between mesangium and endothel:

- I. At the contact the endothelial cell is broadened and possesses more organelles.
- II. The mesangial process bulges out into the lumen of the capillary vessel without breaking the endothelium.
- III. Mesangial process breaks the endothelium.
- IV. There are more folds in the endothelium near the mesangial cells.

The endothelium of the peritubular capillaries is extremely attenuated.

The number of pores depends on the adjacent tubulus segment; the greatest quantity is found at the proximal tubule.

There are also greatly widened endothel segments, containing organelles. These cytoplasmatic portions are missing in other capillary segments.

The endothel at the thin Henle'loop is characterised by many vesicles and short conical projections.

At the thick part of Henle's loop there is an interrupted basalmembrane.

The capillary wall at the distal tubule is attenuated in most parts. There are significantly less pores than in the proximal tubule. The pores are dispersed in groups or diffus.

The thickness of the basalmembrane is about 40 nm. The pores are not only adjacent to the tubulus, but also to the fibrocytes of the interstitial space.

The endothel of the connecting tubule is described as a flattened one (250-350 nm) with only few disordered pores.

The vessels at the collecting duct show a varying endothel level (up to 500 nm), few organelles and an incomplete basalmembrane.

Cilia are developed in nearly all vessel segments.

A flap in a capillary vessel at the proximal tubule could be considered as an exceptional feature.

The iuxtaglomerular apparatus of the dog corresponds to that of other mammals. It differs only in a much smaller number of granules in the epitheloid cells.

The morphological results are discussed in view of its possible functional meaning.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

ALBERTINE K.H., O'MORCHOE C.C.C., 1980:

An integrated light and electron microscopy
study on the existence of intramedullary
lymphatics in the dog kidney.
Lymphology, 13 (100-106)

ALBERTINE K.H., O'MORCHOE C.C.C., 1980:

Renal lymphatic ultrastructure and translymphatic transport.
Microvasc. Res., 19 (338-351)

ANDREWS P.M., PORTER K.R., 1974:

A scanning electron microscopic studie of the
nephron.
Am. J. Anat., 140 (81-116)

ANDREWS P.M., COFFEY A.K., 1984:

A technique to reduce artifacts to kidney
proximal tubulues.
Kidney Int. 25 (81-116)

BÄR TH., 1973:

Ein Beitrag zur Ultrastruktur der Basalmembran
Verh. Anat. Ges., 67 (337-345)

BARAJAS L., 1970:

The ultrastructure of the Juxtaglomerular Apparatus as disclosed by three-dimensional reconstructions from serial sections.
The anatomical ralationship between the tubular and vascular components.
J. Ultrastructure Res., 33 (116-147)

BARGMANN W., 1978:

Handbuch der mikroskopischen Anatomie des
Menschen.
VII/5 Harn- und Geschlechtsapparat;
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

BEEUWKES III R., 1971:

Efferent vascular patterns and early vascular-
tubular relations in the dog kidney.
Am. J. Physiol., 221 (1361-1374)

BEEUWKES III R., BONVENTRE J., 1975:

Tubular organisation and vascular-tubular rela-
tions in the dog kidney.
Am. J. of Physiol., 229 (695-713)

BIALESTOCK D., 1957:

The extraglomerular arterial circulation of the
renal tubulus
Anat. Rec., 129 (50-63)

BOYER C.C., 1956:

The vascular pattern of the renal glomerulus as
revealed by plastic reconstruction from serial
sections.
Anat. Rec., 125 (433-441)

BRENNER B.M., RECTOR F.C. (Hrsg.), 1981:

The Kidney
Saunders Philadelphia

BUCHER O., KAISLING B., 1973:

Morphologie des Juxtaglomerulären Apparates.
Verh. Anat. Ges., 67 (109-136)

- BULGER R.E., SIEGEL F.L., PENDEGRASS R., 1976:
Proximal tubule tendril: Facts or artefact?
Rapid communication Zipgram
- BULGER R.E., CRONIN R.E., DOBYAN D.C., 1979:
Survey of the morphology of the dog kidney.
Anat. Rec., 194 (41-66)
- CARLSON E.C., KENNEY M.C., 1982:
An ultrastructure analysis of isolated basement
membranes in the renal cortex:
A comparative study of humans and laboratory ani-
mals.
J. Morphol., 171 (195-211)
- CHRISTENSEN J.A., BJAERKE H.A., MEYER D.S., BOHLE A.,
1979:
The normal Juxtaglomerular Apparatus in the human
kidney.
Acta Anat., 103 (374-383)
- DIETERICH H.J., 1973:
Interstitium und venöse Strombahn in der Ratten-
niere.
Verh. Anat. Ges., 67 (37-45)
- FARQUHAR M.G., 1975:
The primary glomerular filtration barrier:
basement membrane or epithelial slits?
Kidney Int., 8 (197-211)
- FERBER R., EVANS H., AMADOR R., 1966:
The renal veins of the dog.
J. Urol., 95 (318-322)

FISCHER W., 1985:

Zur Morphologie des Nephrons und des Sammelrohrsystems in der Hundeniere.

Vet. Med. Diss., Universität München

FORSSMANN W.G., 1973:

Ultrastruktur der Nephrone und Sammelrohre.

Verh. Anat. Ges., 67 (65-87)

FUJITA T., TOKUNAGA J., EDANAGA M., 1976:

Scanning electron microscopy of the glomerular filtration membrane in the rat kidney.

Cell Tissue Res., 166 (299-314)

FULLER P.M., HUELKE D.F., 1973:

Kidney vascular supply in rat, cat and dog.

Acta Anat., 84 (516-522)

GORGAS K., 1978:

Struktur und Innervation des Juxtaglomerulären Apparates der Ratte.

Adv. Anat. Embryol., 54

HUANG T.W., 1979:

Basal lamina heterogeneity in the glomerular capillary tufts of human kidney.

J. Exp. Med., 149 (1450-1457)

HUMBERT F., MONTESANO R., PERRELET A., ORCI L., 1976:

Junction in developing human and rat kidney:

A freeze-fracture study.

J. Ultrastruct. Res. 56 (14-21)

JONES W.R. and O'MORCHOE C.C., 1983:

Ultrastructural evidence for a reabsorptive role
by intrarenal veins.

Anat. Rec., 207 (253-262)

KAZZAZ D., SHANKLIN W.M., 1951:

Comparative anatomy of the superficial vessels of
the mammalian kidney demonstrated by plastic (vinyl
acetate) injections and corrosion.

J. Anat. London, 85 (163-165)

KEFALIDES N.A., 1971:

Isolation of collagen from basement membranes con-
taining three identical α -chains.

Research communications, 45 (220-230)

KAISLING B., PETER S., KRIZ W., 1977:

The transition of the thick ascending limb of
Henle's loop into the distal convoluted tubule in
the nephron of the rat kidney.

Cell Tissue Res., 182 (111-118)

KRIZ W., 1967:

Der architektonische und funktionelle Aufbau der
Rattenniere.

Z. Zellforsch. 82 (510-545)

KRIZ W., DIETERICH H.J., 1970:

Das Lymphgefäßsystem der Niere bei einigen Säu-
gertieren.

Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen.

Z. Anat. Entwickl. Gesch. 131 (111-147)

KRIZ W., 1973:

Architectonics of the renal vessels and canaliculi.
Verh. Anat. Ges., 67 (21-36)

KRIZ W., KOEPESELL H., 1974:

The structural organization of the mouse kidney.
Z. Anat. Entwickl. Gesch., 144 (137-163)

KÜGELGEN A. VON, BRAUNGER B., 1962:

Quantitative Untersuchungen über Kapillaren und
Tubuli der Hundeniere.
Z. Zellforsch. 57 (766-772)

KÜGELGEN A. VON, KUHLO B., KUHLO W., OTTO K.J., 1959:

Die Gefäßarchitektur der Niere.
Zwanglose Abh. a. d. Gebiet der normalen und patho-
logischen Anatomie (W. Bargmann, W. Doerr, Hrsg.).
Heft 5, Stuttgart: Thieme Verlag

LANGER K.H., 1975:

Niereninterstitium
Feinstrukturen und Kapillarpermeabilität
I. Feinstrukturen der zellulären und extrazellu-
lären Komponenten des peritubulären Nierenintersti-
tiums.
Cytobiologie, 10 (161-184)

LANGER K.H., 1975:

Niereninterstitium
Feinstrukturen und Kapillarpermeabilität
II. Elektronenmikroskopische Permeabilitätsstudien
an peritubulären Kapillaren der Niere.
Cytobiologie, 10 (185-198)

LANGER K.H., 1975:

Niereninterstitium

Feinstrukturen und Kapillarpermeabilität

III. Untersuchungen über die Verteilung von Tracerproteinen im peritubulären Interstitium und tubulären Labyrinth.

Cytobiologie, 10 (199-216)

LATTA H., MAUNSBACH A.B., MADDEN S.C., 1960:

The centrolobular region of the renal glomerulus studied by electron microscopy.

J. Ultrastruct. Res., 4 (455-472)

LATTA H., JOHNSTON W.H., STANLEY TH.M., 1975:

Sialoglycoproteins and filtration barriers in the glomerular capillary wall.

J. Ultrastruct. Res. 51 (354-365)

LJUNGQVIST A., 1975:

Ultrastructural demonstration of a connection between afferent and efferent juxtamedullary glomerular arterioles.

Kidney Int., 8 (239-244)

MAROS T.M. and T.G., RACZ L., SCHERFER S., TORDAI Z., 1984:

A new conception concerning the angioarchitectural organisation of the canine kidney.

Anat. Anz., Jena 155 (203-207)

MAUL G.G., 1971:

Structure and formation of pores in fenestrated capillaries.

J. Ultrastr. Res., 36 (768-772)

MAUNSBACH A.B., 1966:

The influence of different fixatives and fixation methods on the ultrastructure of rat kidney proximal tubule cells.

I. Comparison of different perfusion fixation methods and of glutaraldehyde, formaldehyde and osmium tetroxide fixatives.

J. Ultrastruct. Res. 15 (242-282)

MELMAN E.P., SHUTKA B.V., 1984:

Mesangio-capillary processes and their reactivity-mobility potentials in extreme exertion on the kidney.

Anat. Anz., Jena 157 (199-211)

MICHAEL A.F., RAJI L., VERNIER R.L., MAUER S.M., 1980:

The glomerular mesangium

Kidney Int., 17 (141-154)

MURAKAMI T., 1974:

A revised Tannin-Osmium method for non-coated scanning electron microscopy

Arch. Histol. Jap., 36 (189-193)

MURAKAMI T., 1976:

Double afferent arterioles of the rat renal glomerulus as studied by the injection replica scanning electron microscope method.

Arch. Histol. Jap., 39 (327-335)

O'MORCHOE C., ALBERTINE K., 1980:

The renal cortical lymphatic system in dogs with unimpeded lymph and urine flow.

Anat. Rec., 198 (427-438)

- OTA Z., MAKINO H., MIYOSHI A., TAKAHASHI K., OFUJI T.,
1977:
Electron microscopic demonstration of meshwork
structure in human and bovine glomerular basement
membranes.
Acta Med. Okayama, 31 (339-342)
- OTA Z., MAKINO H., TAKAYA Y., OFUJI T., 1980:
Molecular sieve in renal glomerular and tubular
basement membranes as revealed by electron
microscopy.
Renal Physiol., 3 (317-323)
- PEASE D.C., 1955:
Electron microscopic study of the vascular bed of
the kidney cortex.
Anat. Rec. 121 (701- 712)
- PEASE D.C., 1968:
Myoepithelial characteristics of capsular and
tubular cells of the kidney cortex.
J. Cell Biol. 39 (124-140)
- PETER S., 1976:
Ultrastructural studies on the secretory process in
the epitheloid cells of Juxtaglomerular Apparatus.
Cell Tissue Res., 168 (45-53)
- ROLLHÄUSER H., KRIZ W., HEINKE W., 1964:
Das Gefäß-System der Rattenniere.
Z. Zellforsch. 64 (381-420)

ROSIVALL L., TAUGNER, 1986:

The morphological basis of fluid balance in the interstitium of the Juxtaglomerular Apparatus.
Cell Tissue Res., 243 (525-533)

ROVENSKA E., 1983:

Two types of capillaries in the rat renal glomerulus.
Acta Anat. 115 (31-39)

SCHEUNERT A., TRAUTMANN A., 1987:

Lehrbuch der Veterinär-Physiologie
Hrsg.: Wittke G.
Verlag Paul Parey Berlin Hamburg

SCHILLER A., TAUGNER R., 1979:

Are there specialized junctions in the pars maculata of the distal tubule?
Cell Tissue Res., 200 (337-344)

SCHMEER K., 1940:

Die Berechnung der Nierenkörperchenzahl beim Hund.
Anat. Anz. 89 (353-357)

SCHURER W., FLEUREN G.J., KOEDEMAEKER P.J., MOLENAAR I., 1980:

A model for the glomerular filter.
Renal Physiol., 3 (237-243)

SCHWARTZ M.M., KARNOVSKY M.J., VENKATACHALAM M.A., 1976:

Ultrastructural differences between rat inner medullary descending and ascending vasa recta.
Lab. Invest., 35 (161-170)

SELLWOOD R.V., VERNEY E.B., 1955:

Enumeration of glomeruli in the kidney of the dog.
Am. J. Anat., 89 (63-68)

SIMIONESCU T., 1981:

In: International Cell Biology
Transcytosis traffic of membranes in the
endothelial cell. (657-672)
Ed.: Schweiger H.G.
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

SPANGLER W.L., 1979:

Ultrastructure of the Juxtaglomerular Apparatus in
the dog in a Sodium-balanced state.
Am. J. Vet. Res., 40 (802-808)

SPINELLI F., WIRZ H., BRUCKER CH., PEHLING, 1972:

Non-existence of shunts between afferent and efferent arterioles of juxtamedullary glomeruli in dog and rat kidney.
Nephron, 9 (112-118)

SPINELLI F., 1974:

Structure and development of the renal glomerulus as revealed by scanning electron microscopy.
Int. Review Cytol., 39 (345-381)

THURAU K., 1973:

Die Bedeutung des Juxtaglomerulären Apparates für die Funktion der Niere.
Verh. Anat. Ges., 67 (137-150)

- TAUGNER R., BOLL U., ZAHN P., FORSSMANN W.G., 1976:
Cell junctions in the epithelium of Bowman's capsule.
Cell Tissue Res., 172 (431-446)
- TOGUNAGA J., EDANAGA M., FUJITA T., ADACHI K., 1974:
Freeze cracking of scanning electron microscope specimens.
A study of kidney and spleen.
Arch. Histol. Jap., 37 (165-182)
- TRUETA J., BARCLAY A.E., DANIEL P.M., FRANKLIN K. J.,
PRITCHARD M.M., 1947:
Studies of the renal circulation
Oxford: Blackwell
- ULLRICH K.J., HIERHOLZER K., 1976:
In: Sarre H.
Nierenkrankheiten
Thieme Verlag Stuttgart
- UNSICKER K., KRISCH B., 1975:
Kontraktile Filamente im Nephron.
Dtsch. med. Wochenschrift, 100 (116-119)
- VASMANT D., MAURICE M., FELDMANN G., 1984:
Cytoskeleton ultrastructure of podocytes and glomerular endothelial cells in man and in the rat.
Anat. Rec., 210 (17-24)
- VIMTRUP B., 1928:
On the number, shape, structure and surface area of the glomeruli in the kidney of man and mammals.
Amer. J. Anat. 41 (123-128)

ZIMNEY M., RIGAMER E.; 1966:

Glomerular ultrastructure in the kidney of
hibernating animal.

Anat. Rec. 154 (87-92)

Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. habil. Sinowatz danke ich für die Überlassung des Arbeitsplatzes.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. H.-G. Liebich für die Überlassung des Themas und die Überaus freundlich gewährte Hilfe bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Dr. hc. W. Brendel, Direktor des Instituts für Chirurgische Forschung, Klinikum Großhadern, Universität München, und seinen Mitarbeitern danke ich für die Überlassung des Untersuchungsmaterials.

Mein besonderer Dank gilt Fräulein Winkler für die bereitwillige Hilfe bei den Laborarbeiten.

Allen Mitarbeitern des Institutes, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle ebenfalls danken.

Lebenslauf

Name: Barbara Margareta Mitschek

Geburtstag: 26. April 1962

Geburtsort: Unterrammingen, Kreis Mindelheim

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Eltern: Otto Mitschek, Diplomingenieur
Margareta Mitschek, geb. Wolf,
Krankenschwester

Schul Ausbildung: September 1968- Dezember 1968
Volksschule Rosenheim
Januar 1969- Juli 1972
Volksschule Stephanskirchen
September 1972- Juni 1981
Karolinen-Gymnasium Rosenheim

Schulabschluß: Allgemeine Hochschulreife 1981

Studium: WS 1981/82- WS 1986/87
Studium der Tiermedizin an der
Tiermedizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilian-Universität München

Staatsexamen: 18. November 1986

Approbation: 23. Januar 1987

